

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-49006

(P2002-49006A)

(43) 公開日 平成14年2月15日 (2002.2.15)

(51) IntCl <sup>7</sup>	識別記号	P I	テマコード (参考)
G 0 2 B 27/28		G 0 2 B 27/28	A 2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/09	5 0 5	G 0 2 F 1/09	5 0 5 2 H 0 9 9

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2000-234461(P2000-234461)

(22) 出願日 平成12年8月2日 (2000.8.2)

(71) 出願人 000114215

ミネベア株式会社

長野県北佐久郡御代田町大字御代田4106-73

(72) 発明者 加藤 英樹

静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベア株式会社浜松製作所内

(72) 発明者 井上 光輝

愛知県岡崎市伊賀町地蔵ヶ入20-8

(74) 代理人 100068618

弁理士 専 経夫 (外3名)

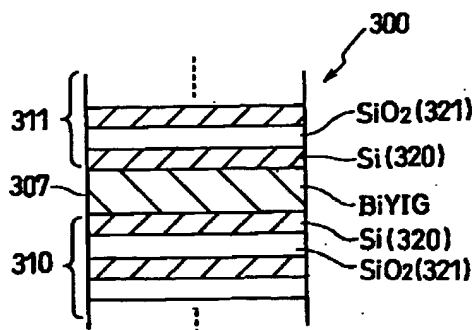
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気光学体及びこの磁気光学体を用いた光アイソレータ

## (57) 【要約】

【課題】 製造コスト及び製造歩留まりの向上を図ることができる磁気光学体及びこの磁気光学体を用いた光アイソレータを提供する。

【解決手段】 磁気光学体300は、磁性体薄膜307の両側に屈折率 $n_s=3.11$ のSi膜320と屈折率 $n_t=1.415$ のSiO<sub>2</sub>膜321とのn層の積層膜からなる誘電体多層膜310、311を設けて構成した。屈折率差が大きい2種類の誘電体薄膜から構成された2組の誘電体多層膜310、311を用いていることで、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ている。製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする磁気光学体。

【請求項2】 前記一方の誘電体薄膜の光屈折率が3以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が3未満であることを特徴とする請求項1記載の磁気光学体。

【請求項3】 前記一方の誘電体薄膜はSiであり、他方の誘電体薄膜はSiO<sub>2</sub>であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の磁気光学体。

【請求項4】 請求項1から請求項3までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする光アイソレータ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信、光計測システム等に用いられる光アイソレータに係り、より詳しくは磁気光学体及びこの磁気光学体を用いる光アイソレータに関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体レーザを光源にする光ファイバ通信システム、特に高速デジタル伝送やアナログ直接変調方式による光システムにおいては、光ファイバ回路中に使用している光コネクタ接続点や光回路部品等からの反射光がレーザに再入射して生じる反射雑音がシステム及びデバイス設計上の大きな問題になる事が多い。この場合、反射再入射光を除去する目的で光アイソレータが使用される。光アイソレータの基本的機能は半導体レーザ（光源）からの出射光を光アイソレータを通して無損失で光ファイバ等の伝送路に伝送する一方、光ファイバ等からの反射光を遮断して半導体レーザ（光源）に戻さないようにするものである。

【0003】光ファイバ通信システムに用いられる光アイソレータは、入射光の偏光面を45度回転させるファラデー効果（磁気光学効果）を有し、半導体レーザ等の光源からの出射光を無損失で伝送路に伝送する一方、前記伝送路からの反射光を遮断して前記光源側に戻さないようにしている。

【0004】従来の通信用光アイソレータで一般的なものとして、偏光子と、検光子と、ファラデー効果（磁気光学効果）を有し前記偏光子及び検光子の間に設けられる磁気光学体とから構成されるものがある。図13、図14に通信用光アイソレータの構造、および、動作原理を示す。図13の通信用光アイソレータは、偏光子2A及び検光子2Bと、偏光子2A及び検光子2Bの間に設けられ光の偏光面を45度回転させるファラデー回転子

（ファラデー素子、磁気光学素子、磁気光学体）1と、磁場を印加するために用いるための永久磁石3とから大略構成されている。

【0005】図14（I）に示す順方向から入射してくる光101は偏光していない光であるが、偏光子2Aを通過すると偏光子2Aの偏光方向の成分だけの光102になる。次に、ファラデー回転子1を通過すると偏光方向が45度回転した光103となる。この45度回転した光の偏光方向と平行になるように検光子2Bの偏光方向をあわせると光は損失が最小の状態で検光子2Bを通過していく。一方、図14（II）のように、光ファイバなどから反射し逆方向に進んできた光105のうち、検光子2Bの偏光方向の成分106だけがここを通過し、ファラデー回転子1に逆方向から入射する。この光はファラデー効果特有の非相反性により、順方向の場合と同じ向きにさらに45度回転する。その結果、ファラデー回転子1を通過したあとは偏光子の偏光方向と直交した光107となり光は遮断されて光源には戻らない。

【0006】このファラデー回転子である磁気光学素子として、イットリウム鉄ガーネット（YIG）やビスマス置換希土類鉄ガーネット（BiYIG）のような比較的大きな固有の磁気光学効果を有する材料を、GGG（ガドリニウム・ガリウム・ガーネット）単結晶基板上に液相エピタキシャル（LPE）成長にて厚膜化して得た単結晶厚膜がある。しかしながら、この単結晶厚膜は液相エピタキシャル（LPE）成長にて形成することから、たとえば光アイソレータとして用いる場合、光アイソレータとして機能するのに必要となる45度のファラデー回転角を確保するためには、膜厚が厚くなり、ひいては外形寸法が大きくなり上記要望に適切には応え得るものにはなっていなかった。また、膜厚が厚いことから光吸収損失が大きく（透過率が悪く）になってしまうという問題点があった。

【0007】さらに、液相エピタキシャル（LPE）成長では多くの制御パラメータが使用されており、厚膜を成長させるためには、その製造技術が十分なものとなっていないというのが実情であった。さらに、ガーネット厚膜について偏光角が45度回転とするためには、液相エピタキシャル（LPE）により成長させた厚膜を所定の厚さに精密研磨し、さらにARコートした後、光アイソレータのサイズに切断する。ところで、Bi置換ガーネットは膜厚が数百μmであり、きびしい加工精度が要求される。また基板となるGGG単結晶ウェーハは非常に高価であるという問題も含んでいる。

【0008】一方、本願発明者は上記のLPEで作製する磁気光学素子の問題点を考慮し、磁気光学効果の向上のために磁気光学膜の光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体を用い、この磁気光学体と、偏光子及び検光子とを組み合わせて構成した光アイソレータを提案している。この磁気光学体の構成とし

ては磁性体と誘電体との各層の厚さを不規則にして薄膜状に形成したものや、磁性体及び誘電体はその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と不規則積層部とを備えたものがある。このとき、偏光子及び検光子としては、方解石のローションプリズムやくさび型のルチル単結晶あるいは偏光ビームスプリッタ(PBS)等が用いられている。

【0009】図15に本発明者らが提案した光アイソレータに用いる光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体の構造の一例を示す。この磁気光学体200は、中央部にビスマス置換希土類ガーネット(BiYIG)〔磁気光学薄膜207〕を用い、その両側にそれぞれ、反射層として、(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)の積層膜〔誘電体多層膜210〕及び(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)の積層膜〔誘電体多層膜211〕を設けて形成された(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sup>n</sup>/BiYIG/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>構造の多層膜の磁気光学体である。ここでBiYIG薄膜〔磁気光学薄膜207〕はスパッタ等により作製される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】図16に(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sup>12</sup>/BiYIG/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sup>12</sup>構造の多層膜の磁気光学体の光透過率とファラデー回転角を示す。この図に示すように大きなファラデー回転角を得るためには(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)の積層数を多くしなければならず、この図の磁気光学体では総数で49層の成膜が必要となる。積層膜の積層が多くなると製造コストが大きくなり、また、プロセスコントロールも難しくなるため製造歩留まりも悪くなる。ひいては、これらの磁気光学体を用いたアイソレータの特性や製造歩留まりが悪くなる。

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする。

【0012】請求項2記載の発明は、請求項1記載の磁\*

$$r = (\eta_a E_a - H_a) / (\eta_a E_a + H_a) \quad \dots \dots (1)$$

$$t = 2\eta_a / (\eta_a E_a + H_a) \quad \dots \dots (2)$$

但し、E<sub>a</sub>は電場ベクトル、H<sub>a</sub>は磁場ベクトルである。

【0017】そして、電場ベクトルE<sub>a</sub>及び磁場ベクトルH<sub>a</sub>について、式(3)で示すように設定する。

【数1】

$$\begin{pmatrix} E_m \\ H_m \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 \\ \eta_s \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

\* 気光学体において、一方の誘電体薄膜の光屈折率が3以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が3未満であることを特徴とする。請求項3記載の発明は、請求項1記載の磁気光学体において、前記一方の誘電体薄膜はSiであり、他方の誘電体薄膜はSiO<sub>2</sub>であることを特徴とする。

【0013】請求項4記載の発明は、光アイソレータであって、請求項1から請求項3までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする。

10 【0014】

【発明の実施の形態】本発明者は、異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜のうち、一方の誘電体薄膜はその光屈折率を大きくし、かつ、他方の誘電体薄膜はその光屈折率を小さくして、2種類の誘電体薄膜の屈折率の差を大きくとることにより、この磁気光学体の中心部により強い光の局在化を示すことを見出した。そして、この強い光が局在化することより誘電体多層膜の積層数をあまり多くしなくても大きなファラデー回転角が得られる。

【0015】以下に、本発明の実施の形態を図1ないし図12に基づいて説明する。本発明の第1実施の形態に係る磁気光学体の構成は、図1に大略示されるが、この説明に先だって、磁気光学体を構成する磁性体薄膜及び誘電体多層膜について図3ないし図7に基づいて説明する。

【0016】ここで、磁気光学体を構成する磁性体薄膜を光学膜とし、光が図3に示す多層光学薄膜30にθ<sub>0</sub>で入射したと考える。また、各層に入射する角度をθ<sub>j</sub>と考える。そのとき、光透過率Tおよび光反射率Rを求めるマトリクス法は次のように表せられる〔式(1)〜式(10)〕。ここで、膜面が半無限面であると仮定できれば、低屈折層(L層)からなる多層膜の振幅反射係数rあるいは透過係数tはそれぞれ式(1)及び式(2)に示すようになる。

※【0018】式(3)で、Mはマトリクス積であり、M=M<sub>L</sub> M<sub>L-1</sub>⋯M<sub>j</sub>⋯M<sub>2</sub> M<sub>1</sub>とする。したがって、この薄膜系のj番目のマトリクスM<sub>j</sub>は、式(4)で表せる。

【数2】

$$M_j = \begin{pmatrix} m_{11} & im_{12} \\ im_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & \frac{i}{\delta_j} \sin \delta_j \\ i n_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

【0019】式(4)で、 $\delta_j$ は、

$$\delta_j = (2\pi/\lambda) (n_j d_j \cos \theta_j) \quad \dots \dots (5)$$

とする。

$$* n_s \sin \theta_0 = n_j \sin \theta_j \quad \dots \dots (7)$$

【0020】また、上式(5)で、 $n_j d_j \cos \theta_j$ は屈折角 $\theta_j$ でのj番目の層での実効光学膜厚を示す。また、その他の式での $\eta$ は式(6)に示すように媒質、基板および各層の実効屈折率を表すものとする。

【0022】さらに、光透過率T及び光反射率Rは、式(8)及び式(9)のように表せる。

【数4】

$$T = \left( \frac{n_s}{n_m} \right) |t|^2 \quad \dots (8)$$

【数3】

$$\eta = \begin{cases} n / \cos \theta(p) \\ n \cos \theta(s) \end{cases} \quad \dots (6)$$

$n_s$ : 基板の実効屈折率

$n_m$ : 1番上の層の実効屈折率

【0021】前記式(6)では入射面に対して平行(p)あるいは垂直(s)な入射光にそれぞれ対応する。また、角度 $\theta$ は入射媒質での入射角 $\theta$ 。と次式

$$R = |r|^2 \quad \dots (9)$$

(7)で示されるスネルの法則で対応付けられたものになっている。

ここで、光が斜め入射している薄膜の位相厚さ $\delta_j$ は、次式(10)で与えられている。

$$\delta_j = (2\pi/\lambda) (n_j d_j \cos \theta_j) \quad \dots \dots (10)$$

式(10)から、光学膜厚  $n_j d_j \cos \theta_j$  は入射角の変化に伴い見かけの光学膜厚が変化すると解釈できる。

※は式(11)～式(14)で示される。

【0023】磁性体薄膜が理想的なファブリペロー共振器であるとする、磁性体薄膜の実効屈折率

【0024】すなわち、磁性体薄膜が高屈折率の場合、磁性体薄膜の実効屈折率は、式(11)に示すようになる。

【数5】

【数6】

$n^*$

$$n^* = n_H \left( \frac{m - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right)}{(m-1) - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right) + \left( \frac{n_H}{n_L} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (11)$$

$n_H$ : 高屈折率層の屈折率

$n_L$ : 低屈折率層の屈折率

この場合、1次のフィルタに対しては、磁性体薄膜の実効屈折率は、式(12)に示すようになる。

★【0025】また、磁性体薄膜が低屈折率の場合、磁性体薄膜の実効屈折率は、式(13)に示すようになる。

【数7】

【数8】

$$n^* = (n_H n_L)^{1/2} \quad \dots (12)$$

$$n^* = n_L \left( \frac{m - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right)}{m - m \left( \frac{n_L}{n_H} \right) + \left( \frac{n_L}{n_H} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (13)$$

この場合、1次のフィルタに対しては、式(14)に示すようになる。

【数9】

$$n^* = \frac{n_L}{\left[1 - \left(\frac{n_L}{n_H}\right) + \left(\frac{n_L}{n_H}\right)^2\right]^{1/2}} \quad \dots (14)$$

【0026】したがって、1次のフィルタとして考えた場合の磁性体薄膜の実効屈折率について例示すれば、図4の表1に示すようになる。

【0027】磁気光学体を構成する磁性体薄膜を光学膜とし、光が図3に示す多層光学薄膜に $\theta_0$ で入射したと考える。その場合、スネルの法則から入射角が小さくなり、 $n_j \sin \theta_j \cos \theta_j$ より実効光学膜厚が長くなる。したがって、磁性体の膜厚が厚くなれば、それだけファラデー回転角が大きくなる。

【0028】例えば、低屈折膜として $\text{SiO}_2$  (屈折率 $n_L=1.415$ )、高屈折膜として赤外光領域で透光性のよい $\text{Si}$  ( $n_H=3.11$ )を用いた場合の磁気光学体を以下に示す。なお、高屈折膜として赤外光領域で透光性の良い $\text{Ge}$ を用いてもかまわない。

【0029】この光アイソレータを構成するものの一例として、中央部にビスマス置換希土類鉄ガーネット $\text{BiYIG}((\text{BiY})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12})$ 、 $\text{BiTbIG}((\text{BiTb})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12})$ 、あるいはセリウム置換希土類鉄ガーネット( $\text{CeRIG}$ ) 磁気光学薄膜 (例えばここでは $\text{BiYIG}$  磁気光学薄膜)を用い、その両側にそれぞれ、反射層として、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})$ の積層膜〔誘電体多層膜〕及び $(\text{Si}/\text{SiO}_2)$ の積層膜〔誘電体多層膜〕を設けて形成された $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体がある。ここで $\text{BiYIG}$  薄膜はスパッタ等により作製される。なお、スパッタ法以外〔蒸着法、CVD (化学的气相成長法) など〕でも、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 多層膜の作製は可能である。

【0030】前記 $(\text{SiO}_2/\text{Si})$ の積層膜及び $(\text{Si}/\text{SiO}_2)$ の積層膜の $\text{SiO}_2$ の屈折率 $n_L$ は、 $\text{Si}$ の屈折率 $n_H$ よりも小さく、それぞれの厚さ $D_L$ 、 $D_S$ は、 $n_H \cdot D_S = n_L \cdot D_L = \lambda/4$ を満たしている。また、 $\text{BiTbIG}$ 薄膜は、 $n_H \cdot D_H = \lambda$ または $\lambda/2$  ( $n_H$ :  $\text{BiYIG}$ の薄膜の屈折率、 $D_H$ :  $\text{BiYIG}$ 薄膜の膜厚)としている。

【0031】上記構成の磁気光学体は、特定の波長の光を入射すると強い光の局在化が生じ大きな磁気光学効果と高い透過率を示す。なお、この磁気光学体では、固有の光学特性を有する光学薄膜を所定の厚さに積層して、中心部に光が局在化する干渉膜を形成しているため、より強い光の局在化を示すためには $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 及び $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 〔多層膜〕の層構造の乱れがないことが求められる。

【0032】なお、光結晶の特性は一般的な電子結晶の電子状態と対比して説明される。光結晶では、電子結晶

のエネルギー単位にバンドギャップが存在するように、ある方向に対し光が伝播できない波長域が現れる。この特定波長域はフォトリックバンドギャップと呼ばれ、結晶構造に依存し変化する。電子状態(a)と対比したフォトリックバンドギャップ(b)を図5に示す。

【0033】また、結晶の周期的な構造の一部に乱れがあることは、電子結晶の欠陥に相当し、フォトリックバンドギャップ中の特定波長の光が透過するようになる。磁気光学体の定在波の分布の様子を図6に示す。図6に示す磁気光学体では、中心部分に光が強く局在化しており、この局在化がユニークな透光性と大きな磁気光学効果をもたらすと言える。また、図7に示すように強い局在化が生じた波長で大きな高い透過率を示すことが判った。

【0034】例えば、異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層された反射層としての2つの誘電体多層膜 (例えば $\text{SiO}_2/\text{Si}$ の積層膜。この場合、例えば $\text{SiO}_2$ の屈折率 $n_L$ は $\text{Si}$ の屈折率 $n_H$ よりも小さく、それぞれの厚さ $D_L$ 、 $D_S$ は、 $n_H \cdot D_S = n_L \cdot D_L = \lambda/4$ を満たす。)と、該2つの誘電体多層膜の間に設ける磁性体膜 (例えばその膜厚が $\lambda$ または $\lambda/2$ とする)とを有する磁気光学体においては、特定の波長の光を入射すると強い光の局在化が生じ大きな磁気光学効果と高い透過率を示し、特に前記磁性体膜としてファラデー回転角が大きい希土類鉄ガーネットを用いることにより前記磁気光学効果をより大きくできることを本発明者は実験により検証している。

【0035】ここで、図1に基づいて、本発明の第1実施の形態に係る磁気光学体300について、以下に説明する。この磁気光学体300は、屈折率が異なる2種の誘電体を反射層に用いて構成されている。そして、この磁気光学体300は $1.31\mu\text{m}$ の共鳴波長を有し、中央層として $(\text{BiY})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ガーネット膜〔以下、適宜、単に $\text{BiYIG}$ 膜 (磁性体薄膜307) という〕が用いられ、その両側にそれぞれ、反射層〔2つの誘電体多層膜310、311〕として、 $\text{Si}$ 膜320 (一方の誘電体薄膜)と $\text{SiO}_2$ 膜321 (他方の誘電体薄膜)との $n$ 層の積層膜がそれぞれ用いられている。

【0036】このような磁気光学体300の反射層〔誘電体多層膜310、311〕は、中央層 (磁性体薄膜307)を中心に対称の膜構成を有しており、各誘電体膜は〔入射光の波長 $\lambda/(4 \times \text{誘電体の屈折率}M)$ 〕の膜厚を有して交互に積層されている。即ち、厚さに規則性を有して積層されている。 $\text{SiO}_2$ 膜321の膜厚は $[1310/(4 \times 1.415)] = 231\text{nm}$ であり、 $\text{Si}$ 膜320の膜厚は $[1310/(4 \times 3.11)] = 105\text{nm}$ である。そして、 $\text{BiYIG}$ 膜307からなる中央層は反射層(310、311)の規則性から外れた膜厚を有しており、その膜厚は $298\text{nm}$ である。ここで、入射光の波長 $\lambda = 1310\text{nm}$ 、 $\text{Si}$ 膜320 (一方の誘電

体薄膜)の屈折率 $n_s=3.11$ 、 $\text{SiO}_2$ 膜321(他方の誘電体薄膜)の屈折率 $n_t=1.415$ である。

【0037】図2に $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体について、具体的には、 $n=3$ 、4、5の場合における磁気光学体300について、入射光の波長に対する透過率の変化及びファラデー回転角 $\theta_F$ を調べた。図2は、それぞれ、縦軸が透過率及びファラデー回転角 $\theta_F$ を示し、横軸はいずれも入射光の波長 $\lambda$ を示している。図2から明らかなように、波長 $\lambda$ が1310nmの近傍で、透過率及びファラデー回転角 $\theta_F$ のピークを有している。

【0038】ここで、本実施の形態及び前述した $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^{12}/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^{12}$ 構造の多層膜の磁気光学体に関して、各光透過率及びファラデー回転角を比較する。

【0039】本実施の形態の磁気光学体300は、2種類の誘電体薄膜〔 $\text{Si}$ 膜320(一方の誘電体薄膜)、 $\text{SiO}_2$ 膜321(他方の誘電体薄膜)〕の屈折率( $\text{Si}$ 膜320の屈折率 $n_s=3.11$ 、 $\text{SiO}_2$ 膜321の屈折率 $n_t=1.415$ )の差を大きくとることにより、屈折率が異なる誘電体(誘電体多層膜310、311)を反射層に用いており、高い共振Q(共振程度)を有しているので、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができる。このため、 $n=3$ で13層、 $n=4$ で17層、 $n=5$ で21層と少ない成膜数で大きなファラデー回転角を得ている。

【0040】そして、このように大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。さらに、これらの磁気光学体300を用いた光アイソレータの特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【0041】次に、本発明の実施の形態の磁気光学体及びその製造法を図8に基づいて説明する。ガラス等の使用波長で透光性の良好な基板の上に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成し(例えば $\text{Si}$ 薄膜)、次に低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成する(例えば $\text{SiO}_2$ 薄膜)。この工程を $n$ 回繰返し、次に希土類鉄ガーネット膜( $\text{BiYIG}$ 薄膜)を形成する。希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス層で磁性を持たないため、高温熱処理してガーネットを結晶化させる必要がある。このためアニール処理を行う。さらに、低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成し(例えば $\text{SiO}_2$ 薄膜)、次に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜を形成する(例えば $\text{Si}$ 薄膜)。この工程を $n$ 回繰返すことにより本発明の $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n/\text{BiYIG}/(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 構造の磁気光学体形成する。

【0042】また、 $\text{Si}$ 薄膜と $\text{SiO}_2$ 薄膜の順を逆にして、基板側から低屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜(たとえ

ば $\text{SiO}_2$ 薄膜)を形成し、次に高屈折率を持つ $\lambda/4$ の厚みの薄膜(例えば $\text{Si}$ 薄膜)を形成する $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体も同様である。

【0043】しかし、前記希土類鉄ガーネットを用いた磁気光学体の製造に関し、希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス層で磁性を持たないため、高温熱処理してガーネットを結晶化させる必要がある。一方、誘電体多層膜は、高温熱処理によりその周期構造が乱れて(壊れて)しまう。このため、大きな磁気光学効果を得るために、希土類鉄ガーネットを用いた上記磁気光学体を製造することは、非常に面倒であるというのが実情であった。この実施の形態では、図9に示すように、水冷された基板ホルダ201上にインジウムシート202をセットし、インジウムシート202の上に基板203(例えば石英ガラス)を載置し、基板203の上に集光板としてのグラッシーカーボン204をセットする。

【0044】基板203には、図1に示す異なる光学特性を有する $\text{Si}$ 膜(誘電体素材)及び $\text{SiO}_2$ 膜(誘電体素材)をその厚さに規則性をもって交互に積層してなる $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310(二つの誘電体多層膜のうちの一方、 $n$ :積層数)が積層される。 $\text{Si}$ 膜(誘電体素材)及び $\text{SiO}_2$ 膜(誘電体素材)は赤外光域で透明で、環境安定性が高い材料で形成されている。基板203としては、赤外線導入加熱装置220による $\text{BiYIG}$ 薄膜207の結晶化熱処理の際には溶けることがない特性を有するものが望ましい。

【0045】そして、この $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310の上に、 $\text{BiYIG}$ 薄膜307〔希土類鉄ガーネット〕が成膜され、この状態で後述するように赤外線導入加熱装置220により $\text{BiYIG}$ 薄膜307の結晶化熱処理が施され、この後、結晶化された $\text{BiYIG}$ 薄膜307を含む $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ の上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 層311(二つの誘電体多層膜のうちの他方)が成膜されて、図1に示す $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体300が作製される。磁気光学体300の作製はマルチターゲットRFマグネトロンスパッタ装置により行った。

【0046】前記赤外線導入加熱装置220は、図9に示すように、赤外線ビームを発生する赤外線発生部221と、赤外線ビームを集光させるグラッシーカーボン204と、基板ホルダ201を冷却する冷却機構222と、加熱中にグラッシーカーボン204の表面に接触して配置され、温度モニターに用いられる熱電対223と、を備えている。

【0047】そして、赤外線導入加熱装置220による $\text{BiYIG}$ 薄膜307の結晶化熱処理の際には、基板ホルダ201は冷却され、これにより基板203を通して $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310が冷却される。一方、前記熱処理時に、赤外線により温度上昇したグラッシーカーボン204により $\text{BiYIG}$ 薄膜307のみが加熱され、結晶化され

る。この場合、赤外線ビームは間欠的に照射する（パルス加熱する）ようにしている。

【0048】上述したように $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310が冷却されていることにより、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310のSiと $\text{SiO}_2$ の相互拡散が防止される。このため、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310の周期構造が乱されることがなくなると共に、前記熱処理によりBiYIG薄膜307が結晶化され、有効な磁性を有し、かつ優れた磁気光学特性を有する磁気光学体300が作製されることになる。

【0049】この実施の形態では基板203を通して10  $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310を冷却する場合を例にしたが、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n$ 層310を直接に冷却するように構成してもよい。赤外線加熱装置220による熱処理中はグラッシーカーボン204表面に熱電対223を接触させ温度モニターを行った。図10に熱処理パターンを示す。また、このような加熱方法で結晶化熱処理したとき、成膜直後はアモルファス構造であったBiYIG薄膜307は、熱処理温度850℃で結晶化が進み、また、ファラデー回転角も従来の電気炉で加熱し結晶化させた場合と同様の値を示した。また、BiYIG薄膜307に面荒れやクラックは全く見られなかった。

【0050】一方、同様な加熱方法により $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ を熱処理し、その上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ を成膜して作製された $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ の磁気光学体と、比較用として熱処理しない $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体を作製し、それぞれの磁気光学体の透過スペクトルを調べた。熱処理しない磁気光学体は $\lambda=1000\sim1800\text{nm}$ の波長域にフォトニックバンドギャップが現われ、また、 $\lambda=1310\text{nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていた。また、本発明の実施の形態に示す上記の加熱方法で熱処理した磁気光学体も、 $\lambda=1000\sim1800\text{nm}$ の波長域にフォトニックバンドギャップが現われ、また、 $\lambda=1310\text{nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていることがわかった。このように、比較とした熱処理しない磁気光学体と本実施の形態の磁気光学体の透過率スペクトルの波形はほとんど変化はなかった。このことは、赤外線導入加熱装置220を用いて赤外線ビームを照射することにより、BiYIG薄膜307の結晶化をすることができる熱処理条件で、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の周期構造がほとんど変化しないことを示している。

【0051】また、上記したように、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ を熱処理し、その上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ を成膜して作製された上記 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ 構造の磁気光学体について、ファラデー回転角を調べた。その結果(図示略)この磁気光学体300は大きなファラデー回転角を有することがわかった。この実施の形態では、赤外線ビームは間欠的に照射する（パルス加熱する）ようにしているので、BiYIG薄膜307の結晶化をより精度高いものにできる。

【0052】また、グラッシーカーボン204により赤外線ビームを集光しており、熱処理を迅速に行うようにしている。なお、このグラッシーカーボン204を設けずに、熱処理を行うようにしてもよい。前記の実施の形態では、赤外線導入加熱装置220からの赤外線ビームを用いて、BiYIG薄膜307の結晶化熱処理を行う場合を例にしたが、これに代えて、図11に示すように、レーザ光を用いてBiYIG薄膜307の結晶化熱処理を行うようにしてもよい（便宜上、第2実施の形態という。）。)

【0053】この第2実施形態では、基板203が $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ の成膜された面を上にして基板ホルダ201上にセットされ、レーザ光源231からのレーザ光を $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ に照射して、BiYIG薄膜307を結晶化する。また、レーザ光を間欠的に照射する（パルス加熱する）ようになることにより、BiYIG薄膜307の結晶化をより精度高いものにすることができる。

【0054】この第2実施の形態では、前述の第1実施の形態(図9)で必要とされていた冷却機構222及び冷却処理が不要となり、その分、構成が容易になると共に冷却操作が無くって生産性の向上を図ることができる。上記の2つの実施の形態で得られる磁気光学体300は上述したように大きなファラデー効果を有しており、光アイソレータなど種々の光デバイスに用いて良好な機能を発揮することができる。

【0055】本実施の形態(第1実施の形態及び第2実施の形態)では、異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性を持って交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設ける磁性体膜とを有する磁気光学体300を対象にして、その熱処理方法を例にしたが、これに限らず、誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの規則積層部を備え、前記誘電体は異なる光学特性を有する複数種類の誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層した周期構造を有した誘電体多層膜からなり、前記2つの規則積層部の間に希土類鉄ガーネットの磁性体膜を設けるようにして構成された磁気光学体に、本実施形態(第1実施の形態及び第2実施の形態)に示される熱処理(ひいては製造方法)を適用してもよい。この場合にも、誘電体の周期構造を乱すことなく前記希土類鉄ガーネットの磁性体膜が結晶化されたことになる。

【0056】本実施の形態(第1実施の形態及び第2実施の形態)において、BiYIG薄膜307を用いた場合を例にしたが、本発明はこれに限らず、他の希土類鉄ガーネット薄膜を用いるようにしてもよい。

【0057】前記磁気光学体を用いて、図12に示すように光アイソレータ(第3実施の形態)を構成することができる。図12に示す光アイソレータは、偏光子32A及び検光子32Bと、偏光子32A及び検光子32Bの間に設けられ光の偏光面を45度回転させる磁気光学

体300（ファラデー回転子、磁気光学素子）と、磁場を印加するために用いるための永久磁石33とから大略構成されている。

【0058】この第3実施の形態では、磁気光学体300が、上述したように、2種類の誘電体薄膜〔Si膜320（図1参照）、SiO<sub>2</sub>膜321（図1参照）〕の屈折率の差を大きくとることにより、屈折率が異なる誘電体（誘電体多層膜310、311）を反射層に用いており、高い共振Q（共振程度）を有しているため、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいては少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ている。

【0059】そして、磁気光学体300について、大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、磁気光学体300を用いた第3実施の形態の光アイソレータ（図12）は、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【0060】

【発明の効果】請求項1から請求項3までのいずれかに記載の発明によれば、2種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なり、屈折率が異なる2つの誘電体多層膜を構成可能であり、これにより、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいては少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ることができる。このため、誘電体薄膜の積層数を少なくできる分、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールが比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。

【0061】請求項4記載の発明によれば、磁気光学体が、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、この磁気光学体を用いた光アイソレー

タについて、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施の形態の磁気光学体を模式的に示す断面図である。

【図2】本発明の磁気光学体における透過波長スペクトル及びファラデー回転角を示す特性図である。

【図3】磁性体薄膜への入射の特性を示す図である。

【図4】磁性体薄膜の屈折率を示すための表形式で示した図である。

【図5】光結晶のフォトニックバンドギャップを示すための図である。

【図6】磁気光学体の定在波の様子を示す図である。

【図7】強い局在化が生じた波長と透過率との関係を示す図である。

【図8】図1の磁気光学体の製造方法を示す図である。

【図9】図8の製造方法における各部材のセット状態及び赤外線導入加速装置を示す図である。

【図10】図8の製造方法における熱処理パターンを示す図である。

【図11】本発明の第2実施の形態を説明するための図である。

【図12】本発明の第3実施の形態に係る光アイソレータを示す図である。

【図13】従来の光アイソレータの一例を示す図である。

【図14】光アイソレータの動作原理を示す図である。

【図15】従来の磁気光学薄膜の構造を模式的に示す断面図である。

【図16】磁気光学体の光透過率とファラデー回転角を示す図である。

【符号の説明】

300 磁気光学体

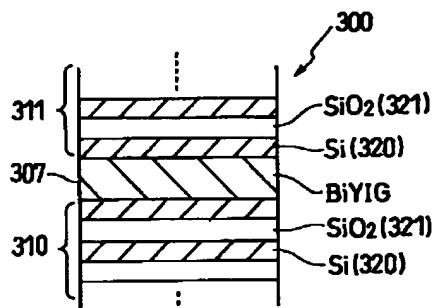
307 磁性体薄膜

310, 311 誘電体多層膜

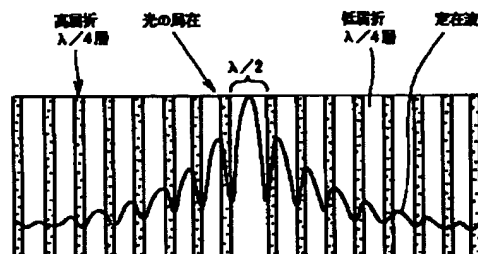
320 Si膜（一方の誘電体薄膜）

321 SiO<sub>2</sub>膜（他方の誘電体薄膜）

【図1】

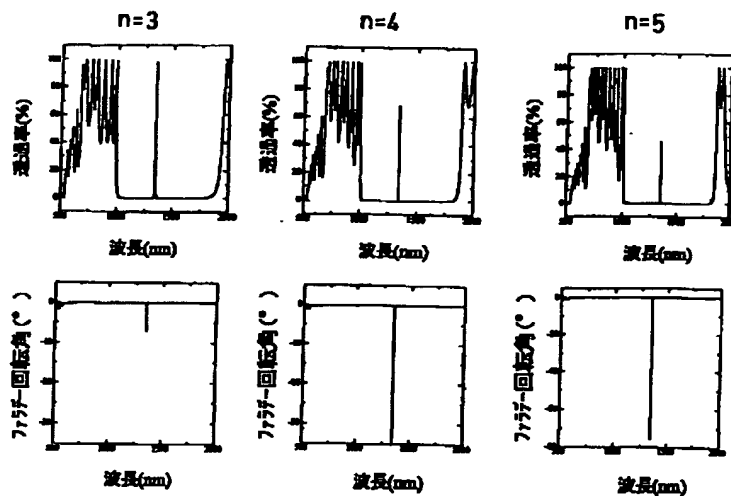


【図6】





【図2】

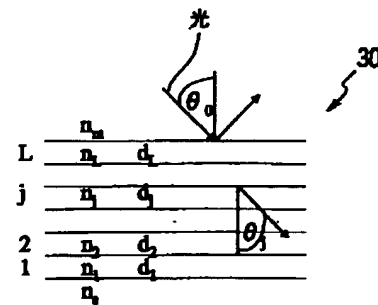
(HL)<sup>2</sup>M(LH)<sup>2</sup>/1737 (中心1300nm)

【図4】

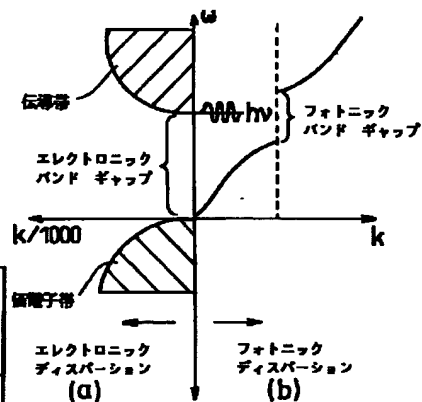
表1

	低屈折率層の屈折率	高屈折率層の屈折率	磁性体薄膜が高屈折率の場合の磁性体薄膜の実効屈折率	磁性体薄膜が低屈折率の場合の磁性体薄膜の実効屈折率
例1	1.415	2.35	1.823527	1.822857
例2	1.415	3.11	2.097773	1.831898

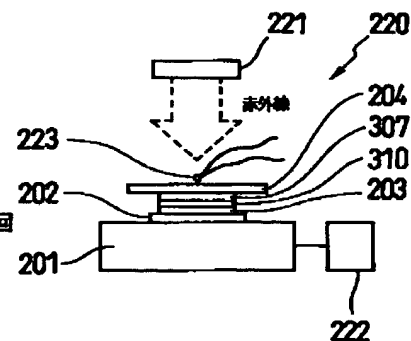
【図3】



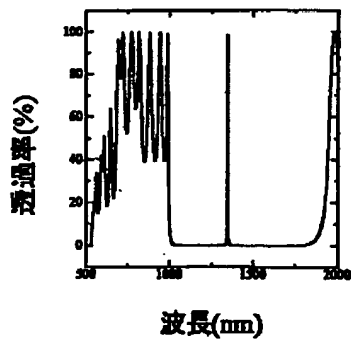
【図5】



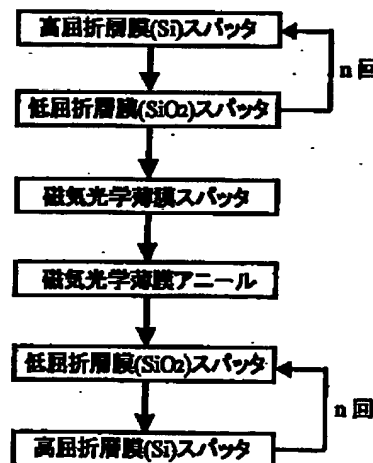
【図9】



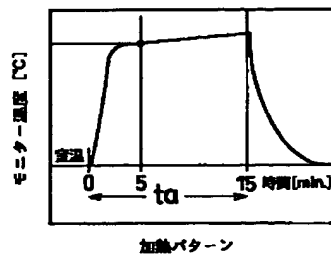
【図7】



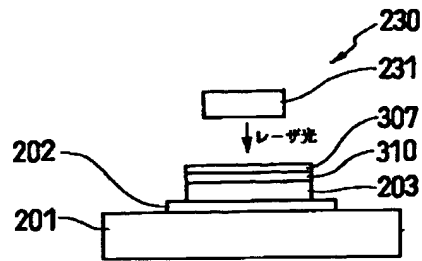
【図8】



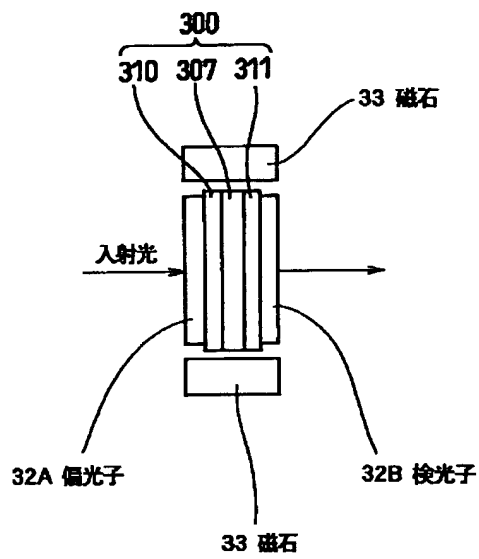
【図10】



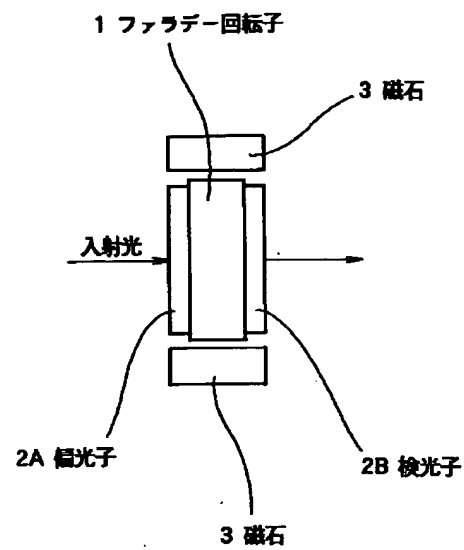
【図11】



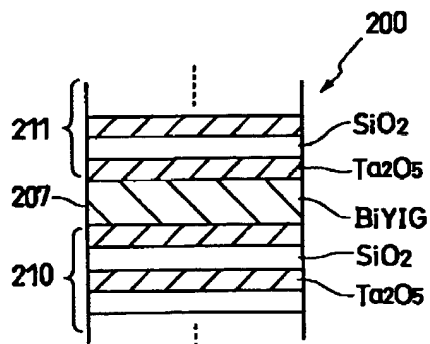
【図12】



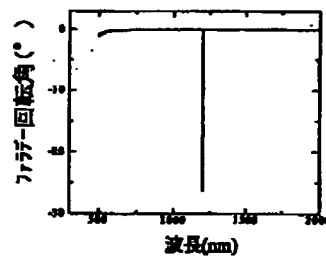
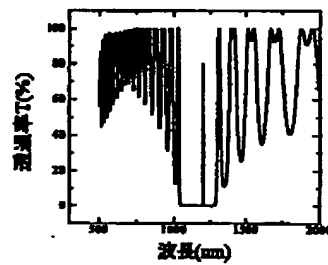
【図13】



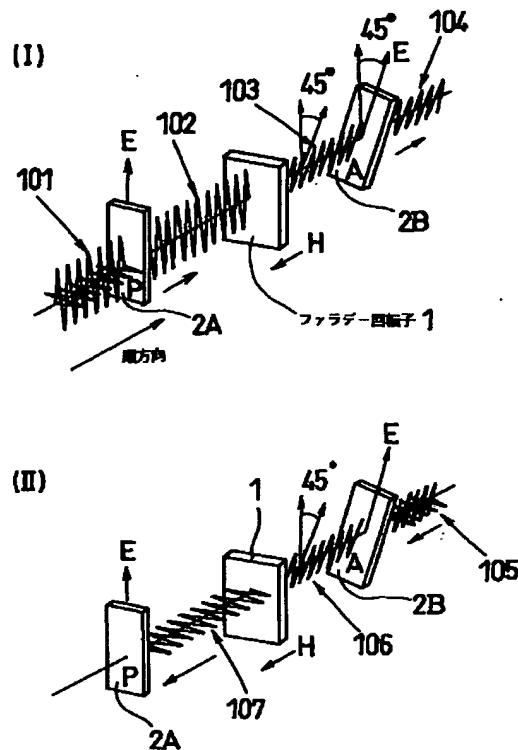
【図15】



【図16】

膜構造: (HL)<sup>12</sup>HZMH(LH)<sup>12</sup>

【図14】



## 【手続補正書】

【提出日】平成13年8月1日(2001.8.1)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】磁気光学体及びこの磁気光学体を用いた光アイソレータ

【特許請求の範囲】

【請求項1】異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする磁気光学体。

【請求項2】前記一方の誘電体薄膜の光屈折率が3以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が3未満であることを特徴とする請求項1記載の磁気光学体。

【請求項3】前記一方の誘電体薄膜はSiであり、他方の誘電体薄膜はSiO<sub>2</sub>であることを特徴とする請求項1又

は請求項2に記載の磁気光学体。

【請求項4】請求項1から請求項3までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする光アイソレータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信、光計測システム等に用いられる光アイソレータに係り、より詳しくは磁気光学体及びこの磁気光学体を用いる光アイソレータに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザを光源にする光ファイバ通信システム、特に高速デジタル伝送やアナログ直接変調方式による光システムにおいては、光ファイバ回路中に使用している光コネクタ接続点や光回路部品等からの反射光がレーザに再入射して生じる反射雑音がシステム及びデバイス設計上の大きな問題になる事が多い。この場合、反射再入射光を除去する目的で光アイソレータが使用される。光アイソレータの基本的機能は半導体レーザ(光源)からの出射光を光アイソレータを通して無損失で光ファイバ等の伝送路に伝送する一方、光ファイバ等からの反射光を遮断して半導体レーザ(光源)に戻さ

ないようにするものである。

【0003】光ファイバ通信システムに用いられる光アイソレータは、入射光の偏光面を45度回転させるファラデー効果(磁気光学効果)を有し、半導体レーザ等の光源からの出射光を無損失で伝送路に伝送する一方、前記伝送路からの反射光を遮断して前記光源側に戻さないようにしている。

【0004】従来の通信用光アイソレータで一般的なものとして、偏光子と、検光子と、ファラデー効果(磁気光学効果)を有し前記偏光子及び検光子の間に設けられる磁気光学体とから構成されるものがある。図11、図12に通信用光アイソレータの構造、および、動作原理を示す。図11の通信用光アイソレータは、偏光子2A及び検光子2Bと、偏光子2A及び検光子2Bの間に設けられ光の偏光面を45度回転させるファラデー回転子(ファラデー素子、磁気光学素子、磁気光学体)1と、磁場を印加するために用いるための永久磁石3とから大略構成されている。

【0005】図12(I)に示す順方向から入射してくる光101は偏光していない光であるが、偏光子2Aを通過すると偏光子2Aの偏光方向の成分だけの光102になる。次に、ファラデー回転子1を通過すると偏光方向が45度回転した光103となる。この45度回転した光の偏光方向と平行になるように検光子2Bの偏光方向をあわせると光は損失が最小の状態検光子2Bを通過していく。一方、図12(II)のように、光ファイバなどから反射し逆方向に進んできた光105のうち、検光子2Bの偏光方向の成分106だけがここを通過し、ファラデー回転子1に逆方向から入射する。この光はファラデー効果特有の非相反性により、順方向の場合と同じ向きにさらに45度回転する。その結果、ファラデー回転子1を通過したあとは偏光子の偏光方向と直交した光107となり光は遮断されて光源には戻らない。

【0006】このファラデー回転子である磁気光学素子として、イットリウム鉄ガーネット(YIG)やビスマス置換希土類鉄ガーネット(BiYIG)のような比較的大きな固有の磁気光学効果を有する材料を、GGG(ガドリニウム・ガリウム・ガーネット)単結晶基板上に液相エピタキシャル(LPE)成長にて厚膜化して得た単結晶厚膜がある。しかしながら、この単結晶厚膜は、たとえば光アイソレータとして用いる場合、光アイソレータとして機能するのに必要となる45度のファラデー回転角を確保するためには、膜厚が厚くなり、ひいては外形寸法が大きくなる。また、膜厚が厚いことから光吸収損失が大きく(透過率が悪く)になってしまうという問題点があった。

【0007】さらに、液相エピタキシャル(LPE)成長では多くの制御パラメータが使用されており、厚膜を成長させるためには、その製造技術が十分なものとなっていないというのが実情であった。さらに、45度のフ

アラデー回転角を得るためには、液相エピタキシャル(LPE)により成長させた厚膜を所定の厚さに精密研磨する必要があるが、Bi置換希土類鉄ガーネットの膜厚が数百 $\mu\text{m}$ であることから、きびしい加工精度が要求される。また基板となるGGG単結晶ウェーハは非常に高価であるという問題も含んでいる。

【0008】一方、本願発明者は上記のLPEで作製する磁気光学素子の問題点を考慮し、磁気光学効果の向上のために磁気光学膜の光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体を用い、この磁気光学体と、偏光子及び検光子とを組み合わせ構成した光アイソレータを提案している。この磁気光学体の構成としては磁性体と誘電体とを各層の厚さを不規則にして薄膜状に形成したものや、光学特性が異なる2種類の誘電体とその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、その2つの誘電体多層膜の間に設けられた磁性体からなる中央層とを備えたものがある。このとき、偏光子及び検光子としては、方解石のローションプリズムやくさび型のルチル単結晶あるいは偏光ビームスプリッタ(PBS)等が用いられている。

【0009】図13に本発明者が提案した光アイソレータに用いる光学的なエンハンスメント効果を利用するように構成した磁気光学体の構造の一例を示す。この磁気光学体200は、中央部にビスマス置換希土類鉄ガーネット(BiYIG)〔磁性体薄膜207〕を用い、その両側にそれぞれ、 $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)$ の積層膜(誘電体多層膜210)及び $(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)$ の積層膜〔誘電体多層膜211〕を設けて形成された $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^n/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^n$ 構造の多層膜の磁気光学体である。 $n$ は積層回数を意味する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】図14に $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^{12}/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^{12}$ 構造の多層膜の磁気光学体の光透過率とファラデー回転角の波長特性を示す。波長1300nmでのファラデー回転角は32°であり、この場合の多層膜の総積層数は49層である。ファラデー回転角を45°まで大きくするには更に積層数を多くする必要がある。積層膜の積層が多くなると製造コストが大きくなり、また、プロセスコントロールも難しくなるため製造歩留まりも悪くなる。ひいては、これらの磁気光学体を用いたアイソレータの特性や製造歩留まりが悪くなる。

【0011】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜は、一方の誘電体薄膜の光屈折率の値が、他方の誘電体薄膜の光屈折率の値と異なることを特徴とする。

【0012】請求項2記載の発明は、請求項1記載の磁気光学体において、一方の誘電体薄膜の光屈折率が3以上であり、他方の誘電体薄膜の光屈折率が3未満であることを特徴とする。請求項3記載の発明は、請求項1記載の磁気光学体において、前記一方の誘電体薄膜はSiであり、他方の誘電体薄膜はSiO<sub>2</sub>であることを特徴とする。

【0013】請求項4記載の発明は、光アイソレータであって、請求項1から請求項3までのいずれかに記載の磁気光学体を用いることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明者は、異なる光学特性を有する2種類の誘電体薄膜がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜と、該2つの誘電体多層膜の間に設けた磁性体薄膜とを有する磁気光学体において、前記2種類の誘電体薄膜のうち、一方の誘電体薄膜はその光屈折率を大きくし、かつ、他方の誘電体薄膜はその光屈折率を小さくして、2種類の誘電体薄膜の屈折率の差を大きくとることにより、この磁気光学体の中心部（磁性体薄膜）により強い光の局在化を示すことを見出した。そして、このより強い光の局在化により誘電体多層膜の積層数をあまり多くしなくても大きなファラデー回転角が得られる。

【0015】具体的な実施の形態を説明する前に、本磁気光学体の物理を電子結晶と対比して説明する。該磁気光学体では、電子結晶のエネルギー準位にバンドギャップが存在するように、ある方向に対し光が伝播できない波長域が現れる。この特定波長域はフォトリックバンドギャップと呼ばれ、多層膜構造に依存し変化する。電子状態(a)と対比したフォトリックバンドギャップ(b)を図3に示す。

【0016】また、磁気光学体の周期的な構造の一部に乱れがあることは、電子結晶の欠陥に相当し、フォトリックバンドギャップ中の特定波長の光が透過するようになる。磁気光学体の定在波の分布の様子を図4に示す。図4に示す磁気光学体では、中心部分に光が強く局在化しており、この局在化がユニークな透光性と大きな磁気光学効果をもたらすと言える。また、図5に示すように強い局在化が生じた波長で高い透過率を示すことが判った。

【0017】例えば、異なる光学特性を有する2種類の誘電体素材がその厚さに規則性をもって交互に積層された2つの誘電体多層膜（例えばSiO<sub>2</sub>/Siの積層膜。この場合、例えばSiO<sub>2</sub>の屈折率 $n_t$ はSiの屈折率 $n_s$ よりも小さく、それぞれの厚さ $d_t$ 、 $d_s$ は、 $n_s \cdot d_s = n_t \cdot d_t = \lambda/4$ を満たす。）と、該2つの誘電体多層膜の間に設ける磁性体薄膜（例えばその膜厚が $\lambda/2$ とする）とを有する磁気光学体においては、特定の波長の光を入射すると強い光の局在化が生じ大きな磁気光学効果と高い透過率を示す。

【0018】次に、図1に基づいて、本発明の第1実施の形態に係る磁気光学体300について、以下に説明する。この磁気光学体300は1.31 $\mu$ mの共鳴波長を有し、中央層として(BiY)<sub>3</sub>FeO<sub>7</sub>ガーネット膜〔以下、適宜、単にBiYIG膜（磁性体薄膜307）という〕が用いられ、その両側にそれぞれ、2つの誘電体多層膜310、311として、Si膜320（一方の誘電体薄膜）とSiO<sub>2</sub>膜321（他方の誘電体薄膜）とのn層の積層膜がそれぞれ用いられている。

【0019】このような磁気光学体300の誘電体多層膜310、311は、中央層（磁性体薄膜307）を中心に対称の膜構成を有しており、各誘電体膜は〔入射光の波長 $\lambda/(4 \times \text{誘電体の屈折率} M)$ 〕の膜厚を有して交互に積層されている。即ち、厚さに規則性を有して積層されている。SiO<sub>2</sub>膜321の膜厚は〔1310/(4 $\times$ 1.415)〕=231nmであり、Si膜320の膜厚は〔1310/(4 $\times$ 3.11)〕=105nmである。そして、BiYIG膜307からなる中央層は誘電体多層膜310、311の規則性から外れた膜厚を有しており、その膜厚は298nm（磁性体膜厚として $\lambda/2$ ）である。ここで、入射光の波長 $\lambda=1310$ nm、Si膜320（一方の誘電体薄膜）の屈折率 $n_s=3.11$ 、SiO<sub>2</sub>膜321（他方の誘電体薄膜）の屈折率 $n_t=1.415$ 、BiYIG膜の屈折率 $n_m=2.19$ である。

【0020】図2に(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>/BiYIG/(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>構造の多層膜の磁気光学体について、具体的には、 $n=3$ 、4、5の場合における磁気光学体300について、入射光の波長に対する透過率の変化及びファラデー回転角 $\theta_F$ を調べた。図2は、それぞれ、縦軸が透過率及びファラデー回転角 $\theta_F$ を示し、横軸はいずれも入射光の波長 $\lambda$ を示している。図2から明らかなように、波長 $\lambda$ が1310nmの近傍で、透過率及びファラデー回転角 $\theta_F$ のピークを有している。

【0021】ここで、本実施の形態及び前述した(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sup>12</sup>/BiYIG/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sup>12</sup>構造の多層膜の磁気光学体に関して、各光透過率及びファラデー回転角を比較する。

【0022】本実施の形態の磁気光学体300は、2種類の誘電体薄膜〔Si膜320（一方の誘電体薄膜）、SiO<sub>2</sub>膜321（他方の誘電体薄膜）〕の屈折率（Si膜320の屈折率 $n_s=3.11$ 、SiO<sub>2</sub>膜321の屈折率 $n_t=1.415$ ）の差を大きくとることにより、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができる。このため、 $n=3$ で13層、 $n=4$ で17層、 $n=5$ で21層と少ない積層数で大きなファラデー回転角を得ている。

【0023】そして、このように大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を

図ることができる。さらに、これらの磁気光学体300を用いた光アイソレータの特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【0024】次に、本発明の実施の形態の磁気光学体及びその製造法を図6に基づいて説明する。ガラス等の使用波長で透光性の良好な基板の上に高屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜を形成し（例えばSi薄膜）、次に低屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜を形成する（例えばSiO<sub>2</sub>薄膜）。この工程をn回繰返し、次にビスマス置換希土類鉄ガーネット膜（BiYIG 薄膜）を形成する。ビスマス置換希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス構造で磁性を持たないため、高温熱処理して結晶化させる必要がある。このためアニール処理を行う。さらに、低屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜を形成し（例えばSiO<sub>2</sub>薄膜）、次に高屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜を形成する（例えばSi薄膜）。この工程をn回繰返すことにより本発明の(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIG/(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup> 構造の磁気光学体を形成する。

【0025】また、Si薄膜とSiO<sub>2</sub>薄膜の順を逆にして、基板側から低屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜（たとえばSiO<sub>2</sub>薄膜）を形成し、次に高屈折率を持つ入/4の厚みの薄膜（例えばSi薄膜）を形成する（SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIG/(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup> 構造の磁気光学体も同様である。

【0026】しかし、前記ビスマス置換希土類鉄ガーネットを用いた磁気光学体の製造に関し、前述の通り、ビスマス置換希土類鉄ガーネット膜はスパッタ直後にはアモルファス構造で磁性を持たないため、高温熱処理して結晶化させる必要がある。一方、誘電体多層膜は、高温熱処理によりその周期構造が乱れて（壊れて）しまう。このため、大きな磁気光学効果を得るために、ビスマス置換希土類鉄ガーネットを用いた上記磁気光学体を製造することは、非常に面倒であるというのが実情であった。この実施の形態では、図7に示すように、水冷された基板ホルダ201上にインジウムシート202をセットし、インジウムシート202の上に基板203（例えば石英ガラス）を載置し、基板203の上に集光板としてのグラッシーカーボン204をセットする。

【0027】基板203には、図1に示す異なる光学特性を有するSiO<sub>2</sub>膜（誘電体素材）及びSi膜（誘電体素材）をその厚さに規則性をもって交互に積層してなる(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup> 層310（二つの誘電多層膜のうち的一方。n：積層数）が積層される。SiO<sub>2</sub>膜（誘電体素材）及びSi膜（誘電体素材）は赤外光域で透明で、環境安定性が高い材料で形成されている。基板203としては、赤外線導入加熱装置220によるBiYIG 薄膜307の結晶化熱処理の際には溶けることがない特性を有するものが望ましい。

【0028】そして、この(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310の上に、BiYIG 薄膜307〔ビスマス置換希土類鉄ガーネット〕が成膜され、この状態で後述するように赤外線導入加熱

装置220によりBiYIG 薄膜307の結晶化熱処理が施され、この後、結晶化されたBiYIG 薄膜307を含む(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIGの上に(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>層311（二つの誘電体多層膜のうち他方）が成膜されて、図1に示す(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup> 構造の磁気光学体300が作製される。磁気光学体300の作製はマルチターゲットRFマグネトロンスパッタ装置により行ったが、蒸着法やCVD法（化学的气相成長法）により作製してもよい。

【0029】前記赤外線導入加熱装置220は、図7に示すように、赤外線ビームを発生する赤外線発生部221と、赤外線ビームを集光させるグラッシーカーボン204と、基板ホルダ201を冷却する冷却機構222と、加熱中にグラッシーカーボン204の表面に接触して配置され、温度モニターに用いられる熱電対223と、を備えている。

【0030】そして、赤外線導入加熱装置220によるBiYIG 薄膜307の結晶化熱処理の際には、基板ホルダ201は冷却され、これにより基板203を通して(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310が冷却される。一方、前記熱処理時に、赤外線により温度上昇したグラッシーカーボン204によりBiYIG 薄膜307のみが加熱され、結晶化される。この場合、赤外線ビームは間欠的に照射する（パルス加熱する）ようにしている。

【0031】上述したように(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310が冷却されていることにより、(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310のSiとSiO<sub>2</sub>の相互拡散が防止される。このため、(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310の周期構造が乱されることがなくなると共に、前記熱処理によりBiYIG 薄膜307が結晶化され、優れた磁気光学特性を有する磁気光学体300が作製されることになる。

【0032】この実施の形態では基板203を通して(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310を冷却する場合を例にしたが、(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>層310を直接に冷却するように構成してもよい。赤外線加熱装置220による熱処理中はグラッシーカーボン204表面に熱電対223を接触させ温度モニターを行った。図8に熱処理パターンを示す。また、このような加熱方法で結晶化熱処理したとき、成膜直後はアモルファス構造であったBiYIG 薄膜307は、熱処理温度850℃で結晶化が進み、また、ファラデー回転角も従来の電気炉で加熱し結晶化させた場合と同様の値を示した。また、BiYIG 薄膜307に面荒れやクラックは全く見られなかった。

【0033】一方、同様な加熱方法により(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIGを熱処理し、その上に(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>を成膜して作製された(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>の磁気光学体と、比較用として熱処理しない(SiO<sub>2</sub>/Si)<sup>n</sup>/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>)<sup>n</sup>構造の磁気光学体を作製し、それぞれの磁気光学体の透過スペクトルを調べた。熱処理しない磁気光学体はλ=1000～1800nmの波長域にフォトニック

バンドギャップが現われ、また、 $\lambda=1310\text{nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていた。また、本発明の実施の形態に示す上記の加熱方法で熱処理した磁気光学体も、 $\lambda=1000\sim1800\text{nm}$ の波長域にフォトニックバンドギャップが現われ、また、 $\lambda=1310\text{nm}$ のところに鋭い波長ピークが現れていることがわかった。このように、比較とした熱処理しない磁気光学体と本実施の形態の磁気光学体の透過率スペクトルの波形はほとんど変化はなかった。このことは、赤外線導入加熱装置220を用いて赤外線ビームを照射することにより、BiYIG 薄膜307の結晶化をすることができる熱処理条件で、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$  構造の多層膜の周期構造がほとんど変化しないことを示している。

【0034】また、上記したように、 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ を熱処理し、その上に $(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$ を成膜して作製された上記 $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}/(\text{Si}/\text{SiO}_2)^n$  構造の磁気光学体について、ファラデー回転角を調べた。その結果(図示略)この磁気光学体300は大きなファラデー回転角を有することがわかった。この実施の形態では、赤外線ビームは間欠的に照射する(パルス加熱する)ようにしているので、BiYIG 薄膜307の結晶化をより精度高いものにできる。

【0035】また、グラッシーカーボン204により赤外線ビームを集光しており、熱処理を迅速に行うようにしている。なお、このグラッシーカーボン204を設けずに、熱処理を行うようにしてもよい。前記の実施の形態では、赤外線導入加熱装置220からの赤外線ビームを用いて、BiYIG 薄膜307の結晶化熱処理を行う場合を例にしたが、これに代えて、図9に示すように、レーザ光を用いてBiYIG 薄膜307の結晶化熱処理を行うようにしてもよい(便宜上、第2実施の形態という。)

【0036】この第2実施形態では、基板203が $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ の成膜された面を上にして基板ホルダ201上にセットされ、レーザ光源231からのレーザ光を $(\text{SiO}_2/\text{Si})^n/\text{BiYIG}$ に照射して、BiYIG 薄膜307を結晶化する。また、レーザ光を間欠的に照射する(パルス加熱する)ようになることにより、BiYIG 薄膜307の結晶化をより精度高いものにすることができる。

【0037】この第2実施の形態では、前述の第1実施の形態(図7)で必要とされていた冷却機構222及び冷却処理が不要となり、その分、構成が容易になると共に冷却操作が無くなって生産性の向上を図ることができる。上記の2つの実施の形態で得られる磁気光学体300は上述したように大きなファラデー効果を有しており、光アイソレータなど種々の光デバイスに用いて良好な機能を発揮することができる。

【0038】本実施の形態(第1実施の形態及び第2実施の形態)において、BiYIG 薄膜307を用いた場合を例にしたが、本発明はこれに限らず、他の希土類鉄ガネット薄膜を用いるようにしてもよい。また、Siに替

て赤外領域において透光性の良いGe(屈折率4.1)を用いてもよい。

【0039】前記磁気光学体を用いて、図10に示すように光アイソレータ(第3実施の形態)を構成することができる。図10に示す光アイソレータは、偏光子32A及び検光子32Bと、偏光子32A及び検光子32Bの間に設けられ光の偏光面を45度回転させる磁気光学体300(ファラデー回転子、磁気光学素子)と、磁場を印加するために用いるための永久磁石33とから大略構成されている。

【0040】この第3実施の形態では、磁気光学体300が、上述したように、屈折率差の大きい2種類の誘電体薄膜(Si膜320(図1参照)、 $\text{SiO}_2$ 膜321(図1参照))からなる誘電体多層膜(310, 311)を用いているので、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいては少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ている。

【0041】そして、磁気光学体300について、大きなファラデー回転角を得る上で、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、磁気光学体300を用いた第3実施の形態の光アイソレータ(図10)は、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【0042】

【発明の効果】請求項1から請求項3までのいずれかに記載の発明によれば、屈折率差が大きい2種類の誘電体薄膜からなる2つの誘電体多層膜を構成することにより、中心部に、より強い光の局在化を示し、大きな磁気光学効果を得ることができ、ひいては少ない誘電体薄膜の積層数で大きなファラデー回転角を得ることができる。このため、誘電体薄膜の積層数を少なくできる分、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールが比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができる。

【0043】請求項4記載の発明によれば、磁気光学体が、誘電体薄膜の積層数を少なくできることにより、製造コストが小さくなり、また、プロセスコントロールも比較的容易になるため製造歩留まりの改善を図ることができることから、この磁気光学体を用いた光アイソレータについて、その特性や製造歩留まりの向上を図ること出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施の形態の磁気光学体を模式的に示す断面図である。

【図2】本発明の磁気光学体における透過波長スペクトル及びファラデー回転角を示す特性図である。

【図3】光結晶のフォトニックバンドギャップを示すた

めの図である。

【図4】磁気光学体の定在波の様子を示す図である。

【図5】強い局在化が生じた波長と透過率との関係を示す図である。

【図6】図1の磁気光学体の製造方法を示す図である。

【図7】図6の製造方法における各部材のセット状態及び赤外線導入加速装置を示す図である。

【図8】図6の製造方法における熱処理パターンを示す図である。

【図9】本発明の第2実施の形態を説明するための図である。

【図10】本発明の第3実施の形態に係る光アイソレータを示す図である。

【図11】従来の光アイソレータの一例を示す図である。

【図12】光アイソレータの動作原理を示す図である。

【図13】従来の磁性体薄膜の構造を模式的に示す断面図である。

【図14】磁気光学体の光透過率とファラデー回転角を示す図である。

【符号の説明】

300 磁気光学体

307 磁性体薄膜

310, 311 誘電体多層膜

320 Si膜(一方の誘電体薄膜)

321 SiO<sub>2</sub>膜(他方の誘電体薄膜)

【手続補正2】

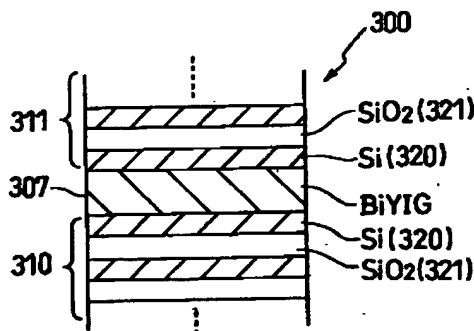
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

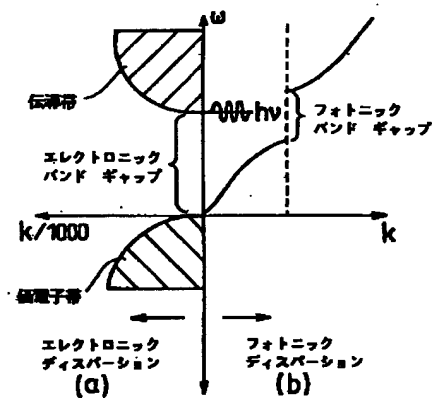
【補正方法】変更

【補正内容】

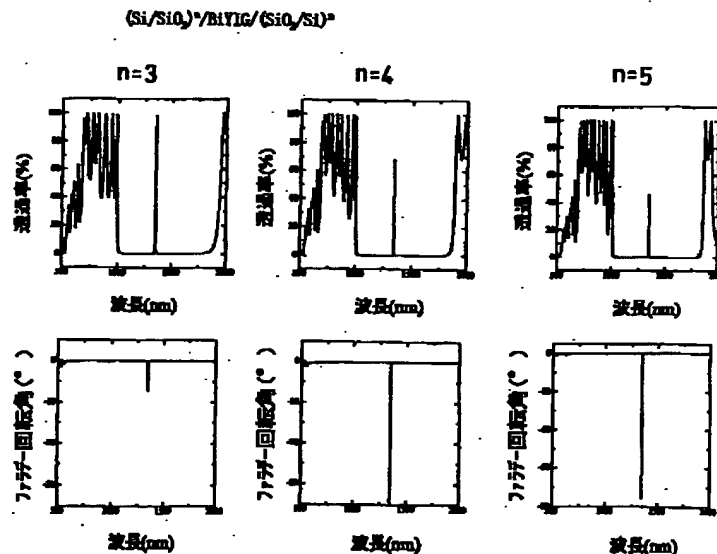
【図1】



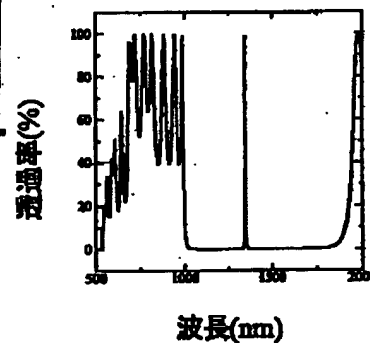
【図3】



【図2】

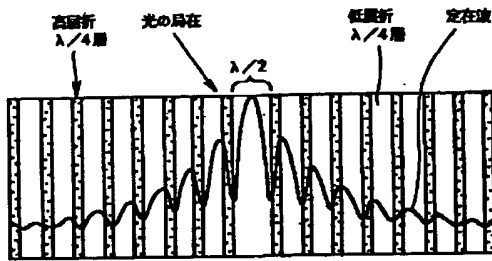


【図5】

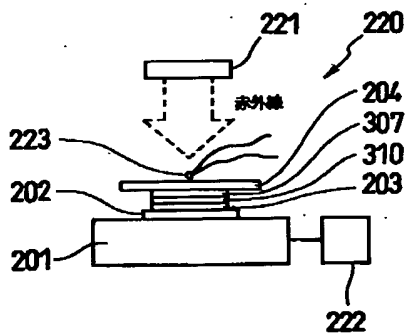




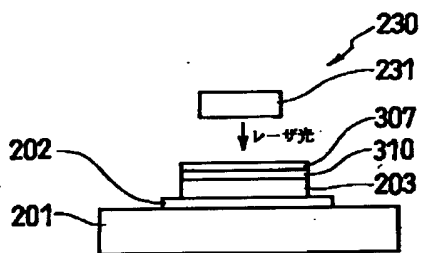
【図4】



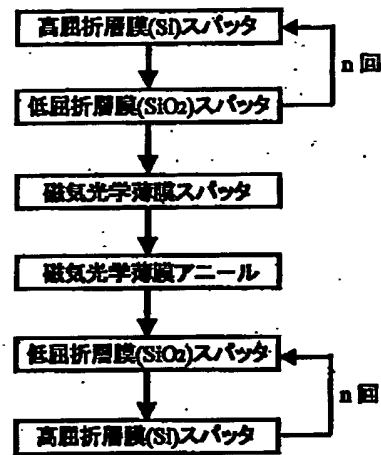
【図7】



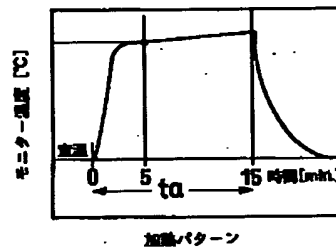
【図9】



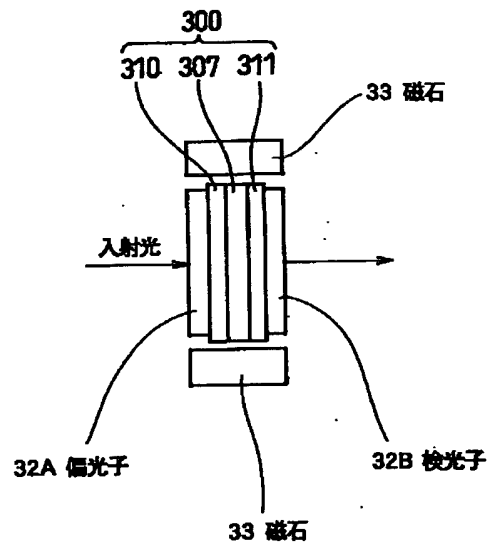
【図6】



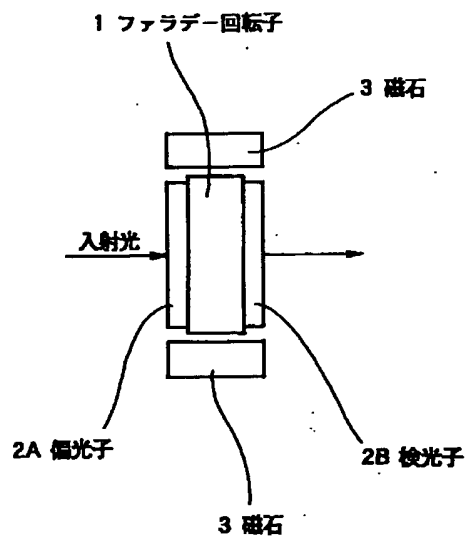
【図8】



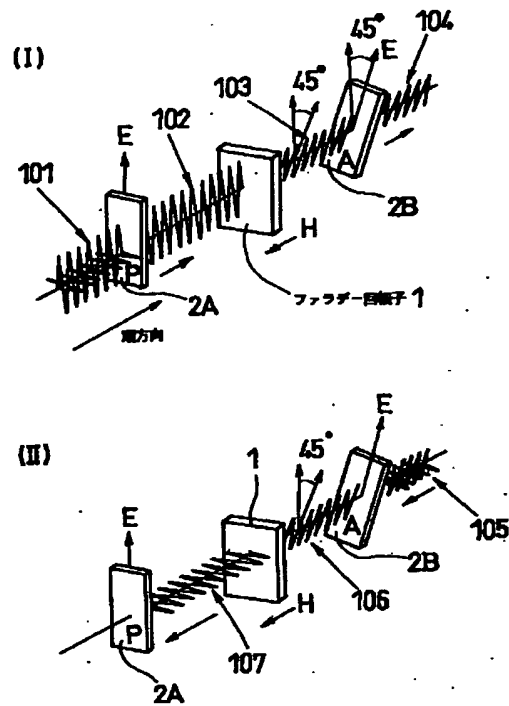
【図10】



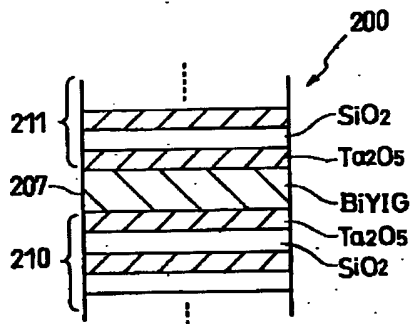
【図11】



【図12】

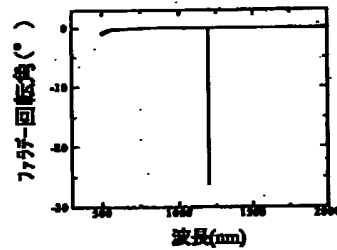
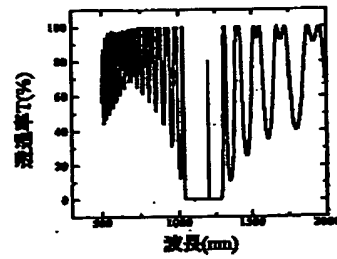


【図13】



【図14】

膜構造:  $(\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5)^{12}/\text{BiYIG}/(\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)^{12}$



フロントページの続き

(72)発明者 高山 昭夫

静岡県磐田郡浅羽町浅名1743-1 ミネベ

ア株式会社浜松製作所内

Fターム(参考) 2H079 AA03 BA02 CA04 DA13 EA28

HA11

2H099 AA01 BA02 CA11

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2002-049006**

(43)Date of publication of application : **15.02.2002**

(51)Int.Cl.

**G02B 27/28**

**G02F 1/09**

(21)Application number : **2000-234461**

(71)Applicant : **MINEBEA CO LTD**

(22)Date of filing : **02.08.2000**

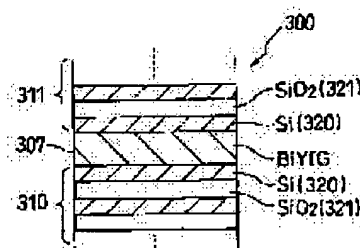
(72)Inventor : **KATO HIDEKI  
INOUE MITSUTERU  
TAKAYAMA AKIO**

## (54) MAGNETOOPTICAL BODY AND OPTICAL ISOLATOR USING THE MAGNETOOPTICAL BODY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magneto-optical body capable of enhancing a manufacturing cost and yield, and to provide an optical isolator using the magneto-optical body.

SOLUTION: Dielectric material multi-layered films 310 and 311 each of which consists of n-layered films of Si films 320 having a refractive index  $M_s=3.11$  and  $\text{SiO}_2$  films 321 having a refractive index  $M_t=1.415$  are provided on both sides of a magnetic material thin film 307 to form the magneto-optical body 300. Since the two dielectric material multi-layered films 310 and 311 composed of two kinds of dielectric material thin films having refractive indices greatly different from each other are used, more intense light can be located at a center part and high magneto-optical effect can be obtained and a large Faraday rotational angle can be obtained with a small number of laminated layers of the dielectric material thin films. Thus, the manufacturing cost can be reduced and the manufacturing yield can be improved because process control is made relatively easy.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

28.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] two dielectric multilayers by which the laminating of two kinds of dielectric thin films which have a different optical property was carried out by turns to the thickness with regularity -- this -- the magneto-optics object with which the two aforementioned kinds of dielectric thin films are characterized by the value of the optical refractive index of one dielectric thin film differing from the value of the optical refractive index of the dielectric thin film of another side in the magneto-optics object which has the magnetic-substance thin film prepared between two dielectric multilayers

[Claim 2] The magneto-optics object according to claim 1 characterized by for the optical refractive index of aforementioned one dielectric thin film being three or more, and the optical refractive index of the dielectric thin film of another side being less than three.

[Claim 3] It is the magneto-optics object according to claim 1 or 2 which aforementioned one dielectric thin film is Si, and is characterized by the dielectric thin film of another side being SiO<sub>2</sub>.

[Claim 4] The optical isolator characterized by using the magneto-optics object of a publication for either from a claim 1 to a claim 3.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the optical isolator used for fiber optics communication, an optical instrumentation system, etc., and relates to a magneto-optics object and the optical isolator using this magneto-optics object in more detail.

[0002]

[Description of the Prior Art] The reflective noise which the reflected light from an optical connector node, optical-circuit parts, etc. currently used all over an optical fiber circuit in the optical fiber communication system used as the light source, especially the optical system by high-speed digital transmission or the analog reactance modulation system carries out re-incidence of the semiconductor laser to laser, and is made becomes a system and a big problem on a device design in many cases. In this case, an optical isolator is used in order to remove a reflective re-incident light. While the basic function of an optical isolator transmits the outgoing radiation light from semiconductor laser (light source) to transmission lines, such as an optical fiber, by no losing through an optical isolator, it intercepts the reflected light from an optical fiber etc., and it is made not to return it to semiconductor laser (light source).

[0003] While the optical isolator used for optical fiber communication system has the Faraday effect (magneto-optical effect) which rotates the plane of polarization of an incident light 45 degrees and transmits the outgoing radiation light from the light sources, such as semiconductor laser, to a transmission line by no losing, it intercepts the reflected light from the aforementioned transmission line, and it is made not to return it to the aforementioned light source side.

[0004] As a general thing at the conventional optical isolator for communication, there are some which consist of a polarizer, an analyzer, and a magneto-optics object that has the Faraday effect (magneto-optical effect) and is established between the aforementioned polarizer and an analyzer. The structure of the optical isolator for communication and the principle of operation are shown in drawing 13 and drawing 14. Profile composition of the optical isolator for communication of drawing 13 is carried out from the Faraday-rotation child (a Faraday cell, a magneto-optics element, magneto-optics object) 1 who it is prepared [ child ] between polarizer 2A and analyzer 2B, and polarizer 2A and analyzer 2B, and rotates the plane of polarization of light 45 degrees, and the permanent magnet 3 for using in order to impress a magnetic field.

[0005] Although the light 101 which carries out incidence from the forward direction shown in drawing 14 (I) is a light which is not polarizing, if polarizer 2A is passed, it will become the light 102 of only the component of the polarization direction of polarizer 2A. Next, if the Faraday-rotation child 1 is passed, the polarization direction will serve as the light 103 which rotated 45 degrees. If the polarization direction of analyzer 2B is united so that it may become these polarization direction of light and parallel that rotated 45 degrees, light passes analyzer 2B in the state of the minimum [ loss ]. On the other hand, like drawing 14 (II), among the light 105 which reflected from the optical fiber etc. and has progressed to an opposite direction, only the component 106 of the polarization direction of analyzer 2B passes through this, and carries out incidence to the Faraday-rotation child 1 from an opposite direction. By non-reciprocity peculiar to the Faraday effect, this light rotates further 45 degrees to the case of the forward direction, and the same direction. Consequently, after passing the Faraday-rotation child 1, it becomes the light 107 which intersected perpendicularly with the polarization direction of a polarizer, and light is intercepted and does not return to the light source.

[0006] As a magneto-optics element which is this Faraday-rotation child, it is a yttrium iron garnet (YIG). There is a single crystal thick film which thick-film-ized material which has the peculiar, comparatively big magneto-optical effect like a bismuth substitution rare earth iron garnet (BiYIG), and obtained it by liquid-phase-epitaxial (LPE) growth on the GGG (gadolinium gallium garnet) single crystal substrate. However, in order to secure 45 Faraday-rotation angles which is needed for functioning as an optical isolator when using, for example as an optical isolator from forming this single crystal thick film by liquid-phase-epitaxial (LPE) growth, thickness becomes thick, as a result a dimension becomes large, and it can respond suitable for the above-mentioned request. Moreover, since thickness was thick, there was a trouble that optical-absorption loss will become large (permeability is ).

[0007] Furthermore, the actual condition was not being thing with the manufacturing technology sufficient in liquid-phase-epitaxial (LPE) growth in order to use many control parameters and to grow up a thick film. Furthermore, in order for a polarization angle to consider as rotation 45 degrees about a garnet thick film, it is liquid phase epitaxial (LPE). After it carries out precision polish of the thick film grown up and it carries out AR coat to predetermined thickness further, it cuts in the

size of an optical isolator. By the way, thickness is hundreds of micrometers and, as for Bi substitution garnet, a severe process tolerance is required. Moreover, GGG used as a substrate The single crystal wafer also contains the problem of being very expensive.

[0008] It is LPE of the above [ an invention-in-this-application person ] on the other hand. In consideration of the trouble of the magneto-optics element to produce, the optical isolator constituted combining this magneto-optics object, and a polarizer and an analyzer is proposed using the magneto-optics object constituted so that the optical enhancement effect of a magneto-optics film might be used for improvement in the magneto-optical effect. There are what made irregular thickness of each class of the magnetic substance and a dielectric as composition of this magneto-optics object, and was formed in the shape of a thin film, and a thing equipped with two dielectric multilayers by which the laminating of the magnetic substance and the dielectric was carried out by turns to the thickness with regularity, and irregular laminating sections. this time -- the rutile single crystal or polarization beam splitter (PBS) of the lotion prism and wedge type of a calcite as a polarizer and an analyzer etc. -- it is used

[0009] An example of the structure of the magneto-optics object constituted so that the optical enhancement effect of using for the optical isolator which this invention persons proposed to drawing 15 might be used is shown. This magneto-optics object 200 is a bismuth substitution rare earth garnet (BiYIG) to a center section. [The magneto-optics thin film 207] is used. on the both sides, respectively as a reflecting layer n/BiYIG(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>) n which prepared the cascade screen [the dielectric multilayer 211] which cascade screen [the dielectric multilayer 210] of (SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) Reaches (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>), and was formed It is the magneto-optics object of the multilayer of structure. It is BiYIG here. A thin film [the magneto-optics thin film 207] is produced by the spatter etc.

[0010]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] It is 12(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)/BiYIG/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)12 to drawing 16 . The light transmittance and Faraday-rotation angle of a magneto-optics object of structure are shown. [ of a multilayer ] As shown in this drawing, in order to acquire a big Faraday-rotation angle, the number of laminatings of (SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) must be made [ many ], and with the magneto-optics object of this drawing, membrane formation of 49 layers is needed in all. Since a manufacturing cost will become large and a process control will also become difficult if the laminating of a cascade screen increases, the manufacture yield also becomes bad. As a result, the property and manufacture yield of an isolator using these magneto-optics objects become bad.

[0011]

[Means for Solving the Problem] two dielectric multilayers by which the laminating of two kinds of dielectric thin films which have the optical property from which invention according to claim 1 differs was carried out by turns to the thickness with regularity -- this -- in the magneto-optics object which has the magnetic-substance thin film prepared between two dielectric multilayers, the two aforementioned kinds of dielectric thin films are characterized by the value of the optical refractive index of one dielectric thin film differing from the value of the optical refractive index of the dielectric thin film of another side

[0012] In a magneto-optics object according to claim 1, the optical refractive index of one dielectric thin film is three or more, and invention according to claim 2 is characterized by the optical refractive index of the dielectric thin film of another side being less than three. In a magneto-optics object according to claim 1, aforementioned one dielectric thin film of invention according to claim 3 is Si, and the dielectric thin film of another side is characterized by being SiO<sub>2</sub>.

[0013] Invention according to claim 4 is an optical isolator, and is characterized by using the magneto-optics object of a publication for either from a claim 1 to a claim 3.

[0014]

[Embodiments of the Invention] In the magneto-optics object which has the magnetic-substance thin film prepared between two dielectric multilayers the dielectric multilayer by which the laminating of two kinds of dielectric thin films in which this invention person has a different optical property was carried out by turns to the thickness with regularity -- this -- It found out that localization of a strong light was shown by the core of this magneto-optics object by one dielectric thin film's enlarging the optical refractive index among the two aforementioned kinds of dielectric thin films, and the dielectric thin film of another side making the optical refractive index small, and taking the large difference of the refractive index of two kinds of dielectric thin films. And even if it does not make [ more / not much ] the number of laminatings of a dielectric multilayer than this strong light localizes, a big Faraday-rotation angle is acquired.

[0015] Below, the gestalt of operation of this invention is explained based on drawing 1 or drawing 12 . The composition of the magneto-optics object concerning the gestalt of the 1st operation of this invention is explained in advance of this explanation based on drawing 3 or drawing 7 about the magnetic-substance thin film and dielectric multilayer which constitute a magneto-optics object, although drawing 1 large-sketches.

[0016] Here, the magnetic-substance thin film which constitutes a magneto-optics object is used as an optical film, and light thinks that incidence was carried out to the multilayer optical thin film 30 shown in drawing 3 by theta 0. Moreover, it is thetaji about the angle which carries out incidence to each class. It thinks. The matrix method for asking for a light transmittance T and the rate R of a light reflex can be then expressed as follows [a formula (1) - a formula (10)]. Here, if it can assume that a film surface is a half-infinite side, the amplitude reflection coefficient r or transmission coefficient t of a multilayer which consists of a low refraction layer (L layer) comes to be shown in a formula (1) and a formula (2), respectively.

$$r = (etamEm - Hm) / (etamEm + Hm) \quad \text{--- (1)}$$

$$t = 2etam / (etamE_{<SUB>m</SUB>} + Hm) \quad \text{--- (2)}$$

However, Em is an electric field vector and Hm is a magnetic field vector.

[0017] And about an electric field vector  $E_m$  and a magnetic field vector  $H_m$ , as shown in a formula (3), it sets up.

[Equation 1]

$$\begin{pmatrix} E_m \\ H_m \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

[0018] At a formula (3),  $M$  is a matrix product and is  $M=ML \cdot ML^{-1} \dots$  It is  $M_j \dots M_2 M_1$ . It carries out. Therefore,  $j$ -th matrix  $M_j$  of this thin film system It can express with a formula (4).

[Equation 2]

$$M_j = \begin{pmatrix} m_{11} & im_{12} \\ im_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta_j & \frac{i}{\delta_j} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

[0019] At a formula (4), it is  $\delta_j = (2\pi/\lambda) (n_j d_j \cos \theta_j)$  -- -- (5)

It carries out.

[0020] Moreover, it is  $n_j d_j \cos \theta_j$  at an upper formula (5). Angle-of-refraction  $\theta_j$  The effective optical thickness in the  $j$ -th layer is shown. Moreover,  $n_j$  in other formulas shall express the effective refractive index of a medium, a substrate, and each class, as shown in a formula (6).

[Equation 3]

$$n = \begin{cases} n / \cos \theta(p) \\ n \cos \theta(s) \end{cases} \quad \dots (6)$$

[0021] the aforementioned formula (6) -- plane of incidence -- receiving -- parallel (p) or a perpendicular (s) -- it corresponds to an incident light, respectively Moreover, an angle  $\theta$  is incident angle  $\theta_0$  in an incidence medium. It was matched by the Snell's law shown by the following formula (7).

$n_m \sin \theta_0 = n_j \sin \theta_j$  -- -- (7)

[0022] Furthermore, a light transmittance  $T$  and the rate  $R$  of a light reflex can be expressed like a formula (8) and a formula (9).

[Equation 4]

$$T = \left( \frac{n_s}{n_m} \right) |t|^2 \quad \dots (8)$$

$n_s$ : 基板の実効屈折率

$n_m$ : 1 番上の層の実効屈折率

$$R = |r|^2 \quad \dots (9)$$

Here, phase thickness  $\delta_j$  of the thin film in which light is carrying out oblique incidence is given by the following formula (10).

$\delta_j = (2\pi/\lambda) (n_j d_j \cos \theta_j)$  -- -- (10)

From a formula (10) to optical thickness  $n_j d_j \cos \theta_j$  Apparent optical thickness can be interpreted as changing with change of an incident angle.

[0023] Supposing a magnetic-substance thin film is an ideal Fabry Perot resonator, it is the effective refractive index [several 5] of a magnetic-substance thin film.

$n^*$

A \*\* type (11) - formula (14) It is shown.

[0024] That is, when a magnetic-substance thin film is a high refractive index, the effective refractive index of a magnetic-substance thin film comes to be shown in a formula (11).

[Equation 6]



$$n^* = n_H \left( \frac{m - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right)}{(m-1) - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right) + \left( \frac{n_H}{n_L} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (11)$$

$n_H$ : 高屈折率層の屈折率

$n_L$ : 低屈折率層の屈折率

In this case, to the primary filter, the effective refractive index of a magnetic-substance thin film comes to be shown in a formula (12).

[Equation 7]  
 $n^* = (n_H n_L)^{1/2} \quad \dots (12)$

[0025] Moreover, when a magnetic-substance thin film is a low refractive index, the effective refractive index of a magnetic-substance thin film comes to be shown in a formula (13).

[Equation 8]  

$$n^* = n_L \left( \frac{m - (m-1) \left( \frac{n_L}{n_H} \right)}{m - m \left( \frac{n_L}{n_H} \right) + \left( \frac{n_L}{n_H} \right)} \right)^{1/2} \quad \dots (13)$$

In this case, to the primary filter, it comes to be shown in a formula (14).

[Equation 9]  

$$n^* = \frac{n_L}{\left[ 1 - \left( \frac{n_L}{n_H} \right) + \left( \frac{n_L}{n_H} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad \dots (14)$$

[0026] Therefore, if it illustrates about the effective refractive index of the magnetic-substance thin film at the time of thinking as primary filter, it comes to be shown in Table 1 of drawing 4.

[0027] The magnetic-substance thin film which constitutes a magneto-optics object is used as an optical film, and light thinks that incidence was carried out to the multilayer optical thin film shown in drawing 3 by theta 0. In this case, from a Snell's law, an incident angle becomes small and it is  $n_H \sin \theta_0$ . Effective optical thickness becomes long. Therefore, if the thickness of the magnetic substance becomes thick, a Faraday-rotation angle will become large so much.

[0028] For example, it is SiO<sub>2</sub> (refractive-index  $M_t=1.415$ ) as a planar-flexion chip box thin film. The magneto-optics object at the time of using good Si ( $M_s=3.11$ ) of a translucency in an infrared light field as a high refraction film is shown below. In addition, you may use good germanium of a translucency in an infrared light field as a high refraction film.

[0029] Although this optical isolator is constituted, in the center section as an example Bismuth substitution rare-earth-iron-garnet BiYIG (BiY) (3Fe 5O<sub>12</sub>), BiTbIG (BiTb) (3Fe 5O<sub>12</sub>) or cerium substitution rare earth iron garnet (CeRIG) A magneto-optics thin film (for example, here BiYIG magneto-optics thin film) is used. on the both sides, respectively as a reflecting layer (SiO<sub>2</sub>/Si) Cascade screen [a dielectric multilayer] It reaches (Si/SiO<sub>2</sub>).  $n/\text{BiYIG}(\text{SiO}_2/\text{Si})/(\text{Si}/\text{SiO}_2)$  n which prepared the cascade screen [a dielectric multilayer] and was formed There is a magneto-optics object of the multilayer of structure. It is BiYIG here. A thin film is produced by the spatter etc. In addition, [a vacuum deposition and CVD (chemical vapor growth) are also] possible for production of n (SiO<sub>2</sub>/Si) multilayer except a spatter.

[0030] the above (SiO<sub>2</sub>/Si) a cascade screen -- and (Si/SiO<sub>2</sub>) The refractive index  $M_t$  of SiO<sub>2</sub> of a cascade screen is smaller than the refractive index  $M_s$  of Si, and each thickness  $D_t$  and  $D_s$  is filling  $M_s$ ,  $D_s=M_t$  and  $D_t=\lambda/4$ . Moreover, the BiTbIG thin film is set to  $N_m-D_m=\lambda$  or  $\lambda/2$  (the refractive index of the thin film of  $N_m$ :BiYIG, thickness of a  $D_m$ :BiYIG thin film).

[0031] Localization of a strong light arises and the magneto-optics object of the above-mentioned composition shows the big magneto-optical effect and high permeability, when incidence of the light of specific wavelength is carried out. In addition, with this magneto-optics object, the laminating of the optical thin film which has a peculiar optical property is carried out to predetermined thickness, and since the interference film which light localizes is formed in a core, in order to show localization of a stronger light (SiO<sub>2</sub>/Si), it is called for that there is no disorder of the layer structure of n and (Si/SiO<sub>2</sub>) n [a multilayer].

[0032] In addition, optical crystal characteristics are explained as contrasted with the electronic state of a general electronic crystal. As an optical crystal, the wavelength region which cannot spread light to a certain direction appears so that a band gap may exist in the energy level of an electronic crystal. This specific wavelength region is called photograph nick band gap, and

changes depending on the crystal structure. The photograph nick band gap (b) contrasted with the electronic state (a) is shown in drawing 5.

[0033] Moreover, it is equivalent to the defect of an electronic crystal that a part of periodic structure of a crystal has disorder, and the light of the specific wavelength in a photograph nick band gap comes to penetrate. The situation of a distribution of the standing wave of a magneto-optics object is shown in drawing 6. With the magneto-optics object shown in drawing 6, light is localizing strongly to a part for a core, and it can be said that a translucency with this unique localization and the big magneto-optical effect are brought about. Moreover, it turns out that big, high permeability is shown on the wavelength which strong localization produced as shown in drawing 7.

[0034] For example, two dielectric multilayers as a reflecting layer by which the laminating of two or more kinds of dielectric voxel material which has a different optical property was carried out by turns to the thickness with regularity (for example, cascade screen of SiO<sub>2</sub>/Si.) The refractive index  $M_t$  of SiO<sub>2</sub> in this case is smaller than the refractive index  $M_s$  of Si. each thickness  $D_t$  and  $D_s$   $M_s$ ,  $D_s=M_t$  and  $D_t=\lambda/4$  are filled In the magneto-optics object which has the magnetic-substance film (for example, the thickness sets to  $\lambda$  or  $\lambda/2$ ) prepared between two dielectric multilayers this -- When incidence of the light of specific wavelength is carried out, localization of a strong light arises, the big magneto-optical effect and high permeability are shown, and this invention person is verifying by experiment that the aforementioned magneto-optical effect can be enlarged more by using the rare earth iron garnet with a large Faraday-rotation angle as the aforementioned magnetic-substance film especially.

[0035] Here, based on drawing 1, the magneto-optics object 300 concerning the gestalt of the 1st operation of this invention is explained below. This magneto-optics object 300 uses for a reflecting layer two sorts of dielectrics with which refractive indexes differ, and is constituted. This magneto-optics object 300 has a 1.31-micrometer resonance wavelength. as a central layer (BiY) And below 3Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> garnet film [ ] called a BiYIG film (magnetic-substance thin film 307) is only used suitably. on the both sides, respectively as a reflecting layer [two dielectric multilayers 310,311] The cascade screen of  $n$  layers of the Si film 320 (one dielectric thin film) and SiO<sub>2</sub> film 321 (dielectric thin film of another side) is used, respectively.

[0036] The reflecting layer (dielectric multilayer 310,311) of such a magneto-optics object 300 has symmetrical film composition focusing on the central layer (magnetic-substance thin film 307), each dielectric film has the thickness of [wavelength  $\lambda$ /(the refractive index  $M$  of  $4\times$  dielectric) of an incident light], and the laminating is carried out by turns. That is, it has regularity in thickness and the laminating is carried out to it. The thickness of SiO<sub>2</sub> film 321 is  $[1310/(4\times 1.415)] = 231\text{nm}$ , and the thickness of the Si film 320 is  $[1310/(4\times 3.11)] = 105\text{nm}$ . And BiYIG The central layer which consists of a film 307 has the thickness from which it separated from the regularity of a reflecting layer (310,311), and the thickness is 298nm. Here, it is refractive-index  $M_s=3.11$  of the wavelength of  $\lambda=1310\text{nm}$  of an incident light, and the Si film 320 (one dielectric thin film), and refractive-index  $M_t=1.415$  of SiO<sub>2</sub> film 321 (dielectric thin film of another side).

[0037] It is  $n/\text{BiYIG}(\text{SiO}_2/\text{Si})/(\text{Si}/\text{SiO}_2)$   $n$  to drawing 2. It is change and Faraday-rotation angle  $\theta_F$  [ as opposed to / object / magneto-optics / object / magneto-optics / of the multilayer of structure ]-specifically / 300 / in  $n=3$ , and 4 and 5 ] the wavelength of an incident light / of permeability. It investigated. For drawing 2, a vertical axis is permeability and Faraday-rotation angle  $\theta_F$ , respectively. It is shown and each horizontal axis shows the wavelength  $\lambda$  of an incident light. It is permeability and Faraday-rotation angle  $\theta_F$  in near whose wavelength  $\lambda$  is 1310nm so that clearly from drawing 2. It has the peak.

[0038] The gestalt of this operation here, and 12(SiO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)/BiYIG/(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sub>12</sub> which were mentioned above Each light transmittance and a Faraday-rotation angle are compared about the magneto-optics object of the multilayer of structure.

[0039] The magneto-optics object 300 of the gestalt of this operation Two kinds of dielectric thin film [Si films 320 (one dielectric thin film), By taking the large difference of the refractive index (refractive-index  $M_s=3.11$  of the Si film 320, refractive-index  $M_t=1.415$  of SiO<sub>2</sub> film 321) of SiO<sub>2</sub> film 321(dielectric thin film of another side)] Since the dielectric (dielectric multilayer 310,311) with which a refractive index is different from each other is used for the reflecting layer and it has the high resonance  $Q$  (resonance grade), localization of a stronger light can be shown in a core and the big magneto-optical effect can be obtained to it. For this reason, the big Faraday-rotation angle has been acquired by  $n=3$  13 layers and  $n=4$  with 17 layers and as few at  $n=5$  the number of membrane formation as 21 layers.

[0040] And since a manufacturing cost becomes small and a process control also becomes comparatively easy by the ability lessening the number of laminatings of a dielectric thin film when acquiring a big Faraday-rotation angle in this way, the improvement of the manufacture yield can be aimed at. Furthermore, the property of an optical isolator and the improvement in the manufacture yield using these magneto-optics objects 300 are aimed at, and the thing of them can be carried out.

[0041] Next, the magneto-optics object of the gestalt of operation of this invention and its manufacturing method are explained based on drawing 8. The thin film of the thickness of  $\lambda/4$  which has a high refractive index on the good substrate of a translucency is formed on operating wavelength, such as glass, (for example, Si thin film), and the thin film of the thickness of  $\lambda/4$  which next has a low refractive index is formed (for example, SiO<sub>2</sub> thin film). This process is repeated  $n$  times and, next, a rare-earth-iron-garnet film (BiYIG thin film) is formed. Since a rare-earth-iron-garnet film does not have magnetism in an amorphous layer immediately after a spatter, it needs to carry out elevated-temperature heat treatment, and needs to crystallize a garnet. For this reason, annealing processing is performed. Furthermore, the thin film of the thickness with a low refractive index of  $\lambda/4$  is formed (for example, SiO<sub>2</sub> thin film), and the thin film of the thickness of  $\lambda/4$  which next has a high refractive index is formed (for example, Si thin film). It is  $n/\text{BiYIG}(\text{Si}/\text{SiO}_2)/(\text{SiO}_2/\text{Si})$   $n$  of this invention by repeating this process  $n$  times. The magneto-optics object of structure is formed.

[0042] Moreover, order of Si thin film and SiO<sub>2</sub> thin film is made reverse, the thin film (for example, SiO<sub>2</sub> thin film) of the

thickness of  $\lambda/4$  which has a low refractive index from a substrate side is formed, and the thin film (for example, Si thin film) of the thickness of  $\lambda/4$  which next has a high refractive index is formed. (SiO<sub>2</sub>/Si) The same is said of the magneto-optics object of n/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>) n structure.

[0043] However, since a rare-earth-iron-garnet film does not have magnetism in an amorphous layer immediately after a spatter about manufacture of the magneto-optics object using the aforementioned rare earth iron garnet, it is necessary to carry out elevated-temperature heat treatment and to crystallize a garnet. On the other hand, the periodic structure is confused with elevated-temperature heat treatment, and a dielectric multilayer is kept (breaking). For this reason, the actual condition was that it is very troublesome to manufacture the above-mentioned magneto-optics object which used the rare earth iron garnet in order to obtain the big magneto-optical effect. With the gestalt of this operation, as shown in drawing 9, the indium sheet 202 is set on the substrate electrode holder 201 by which water cooling was carried out, a substrate 203 [quartz glass] is laid on the indium sheet 202, and the glassy carbon 204 as a condensing board is set on a substrate 203.

[0044] The n layer 310 (on the other hand of the two dielectric multilayers.) which comes by turns to carry out the laminating of Si film (dielectric voxel material) and SiO<sub>2</sub> film (dielectric voxel material) which have a different optical property shown in drawing 1 in a substrate 203 to the thickness with regularity (SiO<sub>2</sub>/Si) n: The laminating of the number of laminatings is carried out. Si film (dielectric voxel material) and SiO<sub>2</sub> film (dielectric voxel material) are transparent in an infrared light region, and are formed with material with high environmental stability. As a substrate 203, it is BiYIG by the infrared introduction heating apparatus 220. What has the property of not melting in the case of heat-of-crystallization processing of a thin film 207 is desirable.

[0045] And this (SiO<sub>2</sub>/Si) n On a layer 310, it is BiYIG. A thin film 307 [a rare earth iron garnet] is formed. It is BiYIG by the infrared introduction heating apparatus 220 so that it may mention later in this state. Heat-of-crystallization processing of a thin film 307 is performed. Then, crystallized BiYIG n/BiYIG containing a thin film 307 (SiO<sub>2</sub>/Si) 311 [n (Si/SiO<sub>2</sub>)-layer] (another side of the two dielectric multilayers) is formed upwards. n/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>) n shown in drawing 1 (SiO<sub>2</sub>/Si) The magneto-optics object 300 of structure is produced. Multi-target RF magnetron-sputtering equipment performed production of the magneto-optics object 300.

[0046] As shown in drawing 9, the aforementioned infrared introduction heating apparatus 220 contacted during heating the infrared generating section 221 which generates an infrared beam, the glassy carbon 204 which makes an infrared beam condense, and the cooler style 222 which cools the substrate electrode holder 201 on the front face of a glassy carbon 204, has been arranged, and is equipped with the thermocouple 223 used for a temperature monitor.

[0047] And BiYIG by the infrared introduction heating apparatus 220 The substrate electrode holder 201 is cooled in the case of heat-of-crystallization processing of a thin film 307, this lets a substrate 203 pass, and it is n (SiO<sub>2</sub>/Si). A layer 310 is cooled. On the other hand, it is BiYIG by the glassy carbon 204 which carried out the temperature rise by infrared radiation at the time of the aforementioned heat treatment. Only a thin film 307 is heated and crystallized. in this case, an infrared beam is irradiated intermittently -- it is made like (pulse heating is carried out)

[0048] It is n as mentioned above (SiO<sub>2</sub>/Si). By cooling the layer 310, it is n (SiO<sub>2</sub>/Si). The counter diffusion of Si and SiO<sub>2</sub> of a layer 310 is prevented. For this reason, n (SiO<sub>2</sub>/Si) While it is lost that the periodic structure of a layer 310 is disturbed, it is BiYIG by the aforementioned heat treatment. A thin film 307 will be crystallized and the magneto-optics object 300 which has effective magnetism and has the outstanding magneto-optics property will be produced.

[0049] With the gestalt of this operation, it lets a substrate 203 pass, and is n (SiO<sub>2</sub>/Si). Although the case where a layer 310 was cooled was made into the example, it is n (SiO<sub>2</sub>/Si). You may constitute so that a layer 310 may be cooled directly. During heat treatment by infrared-heating equipment 220, the thermocouple 223 was contacted on glassy-carbon 204 front face, and the temperature monitor was performed. A heat treatment pattern is shown in drawing 10. Moreover, it is BiYIG it was amorphous structure immediately after [ whose ] membrane formation when heat-of-crystallization processing was carried out by such heating method. Crystallization progressed at the heat treatment temperature of 850 degrees C, and the thin film 307 showed the same value as the case where a Faraday-rotation angle is also heated and crystallized with the conventional electric furnace. Moreover, BiYIG The field dry area or the crack were not looked at at all by the thin film 307.

[0050] On the other hand, n/BiYIG (SiO<sub>2</sub>/Si) is heat-treated by the same heating method, and it is n (Si/SiO<sub>2</sub>) on it. The magneto-optics object of n/BiYIG(SiO<sub>2</sub>/Si)/(Si/SiO<sub>2</sub>) n formed and produced and the magneto-optics object of n/BiYIG(SiO<sub>2</sub>/Si)/(Si/SiO<sub>2</sub>) n structure which is not heat-treated as an object for comparison were produced, and the transparency spectrum of each magneto-optics object was investigated. As for the magneto-optics object which is not heat-treated, the photograph nick band gap appeared in the  $\lambda = 1000\text{--}1800\text{nm}$  wavelength region, and the sharp wavelength peak had appeared at the place which is  $\lambda = 1310\text{nm}$ . Moreover, it turns out that the wavelength peak also with the magneto-optics object sharp to the place which a photograph nick band gap appears in a  $\lambda = 1000\text{--}1800\text{nm}$  wavelength region, and is  $\lambda = 1310\text{nm}$  heat-treated by the above-mentioned heating method shown in the gestalt of operation of this invention has appeared. Thus, the wave of the permeability spectrum of the magneto-optics object which was considered as comparison and which is not heat-treated and the magneto-optics object of the gestalt of this operation was almost changeless. This is BiYIG by irradiating an infrared beam using the infrared introduction heating apparatus 220. It is the heat treatment conditions which can crystallize a thin film 307, and is n/BiYIG(SiO<sub>2</sub>/Si)/n (Si/SiO<sub>2</sub>). It is shown that the periodic structure of the multilayer of structure hardly changes.

[0051] Moreover, the above-mentioned (SiO<sub>2</sub>/Si) n/BiYIG/(Si/SiO<sub>2</sub>) n which heat-treated n/BiYIG (SiO<sub>2</sub>/Si), formed n (Si/SiO<sub>2</sub>) and was produced on it as described above The Faraday-rotation angle was investigated about the magneto-optics

object of structure. As a result (illustration abbreviation), it turns out that this magneto-optics object 300 has a big Faraday-rotation angle. with the gestalt of this operation, an infrared beam is irradiated intermittently -- since it is made like (pulse heating is carried out) -- BiYIG crystallization of a thin film 307 -- more -- precision -- it is made to a high thing [0052] Moreover, it is made to heat-treat quickly by condensing the infrared beam by the glassy carbon 204. In addition, you may be made to heat-treat, without forming this glassy carbon 204. With the gestalt of the aforementioned operation, the infrared beam from the infrared introduction heating apparatus 220 is used, and it is BiYIG. Although the case where heat-of-crystallization processing of a thin film 307 was performed was made into the example, as it replaces with this and is shown in drawing 11, a laser beam is used, and it is BiYIG. You may be made to perform heat-of-crystallization processing of a thin film 307 (it is called the gestalt of the 2nd operation for convenience.).

[0053] With this 2nd operation gestalt, a substrate 203 turns up the field where n/BiYIG (SiO<sub>2</sub>/Si) was formed, it is set on the substrate electrode holder 201, the laser beam from a laser light source 231 is irradiated at n/BiYIG (SiO<sub>2</sub>/Si), and it is BiYIG. A thin film 307 is crystallized. moreover, a laser beam is irradiated intermittently -- like (pulse heating is carried out) -- a bird clapper -- BiYIG crystallization of a thin film 307 -- more -- precision -- it can be made a high thing

[0054] With the gestalt of this 2nd operation, while the cooler style 222 and cooling processing which were needed with the gestalt ( drawing 9 ) of the 1st above-mentioned operation become unnecessary and the part and composition become easy, cooling operation is lost and improvement in productivity can be aimed at. The magneto-optics object 300 acquired with the gestalt of two above-mentioned operations has the big Faraday effect, as mentioned above, can be used for various optical devices, such as an optical isolator, and can demonstrate a good function.

[0055] With the gestalt (the gestalt of the 1st operation, and gestalt of the 2nd operation) of this operation two dielectric multilayers by which the laminating of two or more kinds of dielectric voxel material which has a different optical property was carried out by turns to the thickness with regularity -- this, although the heat treatment method was made into the example for the magneto-optics object 300 which has the magnetic-substance film prepared between these two dielectric multilayers It has the two rule laminating sections by which the laminating not only of this but the dielectric was carried out by turns to the thickness with regularity. The aforementioned dielectric consists of a dielectric multilayer with the periodic structure in which two or more kinds of dielectric voxel material which has a different optical property carried out the laminating to the thickness by turns with regularity. You may apply heat treatment (as a result, the manufacture method) shown in the magneto-optics object constituted as prepared the magnetic-substance film of a rare earth iron garnet between the two aforementioned rule laminating sections at this operation gestalt (the gestalt of the 1st operation, and gestalt of the 2nd operation). Also in this case, it means that the magnetic-substance film of the aforementioned rare earth iron garnet was crystallized, without disturbing the periodic structure of a dielectric.

[0056] It sets in the gestalt (the gestalt of the 1st operation, and gestalt of the 2nd operation) of this operation, and is BiYIG. Although the case where a thin film 307 was used was made into the example, you may make it this invention use not only this but other rare-earth-iron-garnet thin films.

[0057] Using the aforementioned magneto-optics object, as shown in drawing 12, an optical isolator (gestalt of the 3rd operation) can be constituted. Profile composition of the optical isolator shown in drawing 12 is carried out from the magneto-optics object 300 (a Faraday-rotation child, magneto-optics element) which is established between polarizer 32A and analyzer 32B, and polarizer 32A and analyzer 32B, and is made to rotate the plane of polarization of light 45 degrees, and the permanent magnet 33 for using in order to impress a magnetic field.

[0058] With the form of this 3rd operation, as mentioned above, the magneto-optics object 300 by taking the large difference of the refractive index of two kinds of dielectric thin films [the Si film 320 (refer to drawing 1) and SiO<sub>2</sub> film 321 (refer to drawing 1)] Since the dielectric (dielectric multilayer 310,311) with which a refractive index is different from each other is used for the reflecting layer and it has the high resonance Q (resonance grade) Localization of a stronger light could be shown in the core, and the big magneto-optical effect could be obtained to it, as a result the big Faraday-rotation angle has been acquired with the number of laminatings of a few dielectric thin film to it.

[0059] And since a manufacturing cost becomes small, and a process control also becomes comparatively easy by the ability lessening the number of laminatings of a dielectric thin film about the magneto-optics object 300, when acquiring a big Faraday-rotation angle and the improvement of the manufacture yield can be aimed at, the optical isolator ( drawing 12 ) of the gestalt of the 3rd operation using the magneto-optics object 300 aims at improvement in the property and manufacture yield, and can carry out the thing of it.

[0060]

[Effect of the Invention] According to invention given in either from a claim 1 to a claim 3, two kinds of dielectric thin films Unlike the value of the optical refractive index of the dielectric thin film of another side, the value of the optical refractive index of one dielectric thin film can constitute the dielectric multilayer which is two in which a refractive index is different from each other. by this Localization of a stronger light can be shown in a core, and the big magneto-optical effect can be obtained to it, as a result a big Faraday-rotation angle can be acquired with the number of laminatings of a few dielectric thin film to it. For this reason, since the part and manufacturing cost which can lessen the number of laminatings of a dielectric thin film become small and a process control becomes comparatively easy, the improvement of the manufacture yield can be aimed at.

[0061] According to invention according to claim 4, since a manufacturing cost becomes small, and a process control also becomes comparatively easy, when a magneto-optics object can lessen the number of laminatings of a dielectric thin film and the improvement of the manufacture yield can be aimed at, about the optical isolator using this magneto-optics object, improvement

in the property and manufacture yield is aimed at, and the thing of it can be carried out.

---

[Translation done.]